

آزمایش دبی سنج‌ها

تهیه و تنظیم: بهنام پناهی

هدف آزمایش:

در این آزمایش به بررسی دبی سنجی به روش مولد تفاضل فشار و سطح متغییر انجام می‌پردازیم و با سه وسیله مختلف اندازه گیری آشنا می‌شویم. این وسایل شامل روزنه (orifice)، ونتوری متر (venturi tube) و دوارسنج (rotameter) می‌باشد.

مقدمه:

اندازه گیری جریان سیالات یکی از مهمترین جنبه های کنترل فرآیندهاست که در تمامی پروسه های شیمیایی، نفت، فولاد و ... کاربرد دارد. یک دبی سنج دستگاهی است که میزان سیال جابه جا شده درون خطوط لوله را که می‌تواند آب، هوا، بخار، گاز و یا ترکیبی از آنها باشد اندازه گیری می‌نماید. این امر می‌تواند جهت کنترل کیفیت محصول تولیدی یک کارخانه یا به عنوان کمیت اولیه، جهت کنترل کمیتی دیگر به کار رود. وسایل اندازه گیری جریان بسیار متنوع بوده و هر موقعیتی محدودیت ها و نیازمندی های مهندسی مختص به خود را دارد. دبی سنج ها با عناوین مختلفی از قبیل جریان سنج، معیار یا پیمانانه جریان، شاخص جریان، سیال سنج و غیره مطرح می‌شوند. دبی سنج یا فلومتر دقیق جهت نظارت و یا کنترل دقیق جریان استفاده می‌شود. برخی از تجهیزات صنعتی نیازمند محاسبه دقیق مقدار و کمیت های درگیر با آنها هستند، مانند سرو شیرهای (Servo-valve) تعبیه شده در صنایع هوا فضا و صنایع نفت و گاز.

روش ها و ابزار های گوناگونی برای اندازه گیری دبی وجود دارد که هر کدام مکانیزم های مختص خود را دارند. انواع متداول دبی سنج های مورد استفاده در صنعت عبارتند از:

- نوع تفاضل فشار و سطح متغییر (obstruction type) که در این روش از انسداد و نصب مولد فشار و استفاده از قوانین مکانیک سیالات، دبی جریان به طور غیر مستقیم محاسبه می‌شود.
- نوع انبساطی (turbine type)
- نوع الکترومغناطیسی (Electromagnetic)
- نوع جابجایی مثبت (Positive-displacement flowmeter)
- نوع جرمی حجمی (mass volume flowmeter)

تئوری آزمایش:

ابتدا می توان گفت که ساده ترین راه اندازه گیری دبی، سنجش حجم یا وزن سیال عبوری در مدت زمان مشخص است. در دبی سنجی های حجمی وزنی مدت زمان لازم برای پر شدن ظرفی با حجم یا وزن مشخص اندازه گیری می شود و با استفاده از روابط زیر میزان دبی محاسبه می شود:

$$Q = \frac{\frac{w}{\rho g}}{t} = \frac{V}{t} \quad \text{معادله ۱}$$

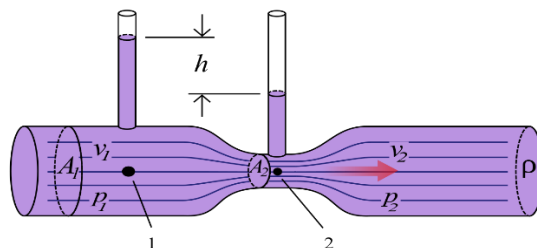
در روابط فوق، t زمان پر شدن، V حجم سیال پر شده داخل ظرف، w وزن سیال پر شده داخل ظرف و ρ وزن مخصوص سیال و Q دبی جریان می باشد.

در این آزمایش با اساس کار دو وسیله ونتوری متر و اوریفیس رابطه برنولی می باشد که دبی از طریق اختلاف فشار در نقاط مختلف بدست می آید. همچنین روتامتر از یک مجرای مخروطی تشکیل می شود که درون آن یک شناور موجود می باشد. در اثر عبور جریان سیال از پایین به بالای روتامتر، نیروی مقاومی به این شناور وارد می شود و آن را به طرف بالا حرکت می دهد. با بالا رفتن شناور، سطح مقطع روتامتر افزایش یافته و لذا سطح جریان میان شناور و مجرای مخروطی روتامتر افزایش می یابد. شناور تا جای بالا می رود که نیروی مقاوم سیال، نیروی ارشمیدس و وزن سیال یکدیگر را خنثی نمایند و سیستم به حالت تعادل برسد. در این صورت مکان شناور که به صورت مستقیم از روی روتامتر خوانده می شود، معرف دبی جریان می باشد. هر چه دبی جریان عبوری از روتامتر بیشتر باشد، محل شناور بالاتر خواهد بود.

روابط حاکم:

▪ ونتوری متر

در برخی کاربردهای فرایندی، اعمال افت فشار توسط ابزار سنجش مورد قبول نیست. از جمله این موارد، واحدهایی است که در ظرفیتی بیش از طراحی کار می کنند و هر افزایش افت فشاری نامطلوب است. وقتی مقدار افت فشار ابزار سنجش میزان جریان اولویت داشته باشد، اولین انتخاب ونتوری است. ونتوری عبارت است از یک مخروط همگرای کوتاه، یک استوانه کوتاه در پی آن و یک مخروط واگرای بلند.



شکل ۱. ونتوری

در بخش همگرا سرعت سیال افزایش می یابد که خود باعث افزایش هد ناشی از سرعت می شود. در بخش میانی استوانه ای شکل به دلیل ثابت بودن سطح معبر، تغییری مشاهده نمی شود در حالی که در بخش واگرا هد سرعت کاهش یافته به صورت فشار بازیابی می شود. بازیابی نسبتا خوب باعث می شود تنها ۱۰ تا ۲۵ درصد افت فشار وجود داشته باشد. ضمنا سیالی که حاوی مقادیر کمی جامد باشد، به راحتی از ونتوری خواهد گذشت چون مانعی بر سر راه آن وجود ندارد، منتها باید انسداد متصل به پیزومترها (tap) را در مقابل گرفتگی و انسداد محافظت نمود.

ونتوری را می توان به صورت قائم، مورب و یا افقی نصب نمود ولی باید سعی کرد حتی الامکان دور از اتصالاتی مثل شیر، زانویی و تبدیل نصب گردد. ابعاد ونتوری نیز به صورت ذیل می باشد، مساحت سطح مقطع ورودی و خروجی (A_1) برابر 1.75×10^{-4} مترمربع و سطح مقطع گلوگاه (A_2) برابر 3.75×10^{-5} مترمربع می باشد.

جهت محاسبه دبی از دو روش اریفیس و ونتوری از حل هم زمان معادلات انرژی و پیوستگی استفاده می کنیم. اگر رابطه برنولی را با فرض عدم تلفات انرژی بین دو مقطع متوالی ۱ و ۲ بنویسیم، خواهیم داشت:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \quad \text{معادله ۲}$$

رابطه پیوستگی بین دو مقطع ۱ و ۲ نیز به صورت زیر می باشد:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad \text{معادله ۳}$$

با ترکیب دو رابطه خواهیم داشت:

$$Q = A_1 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}} = A_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left(1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right)}} = A_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{\left(1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right)}} \quad \text{معادله ۴}$$

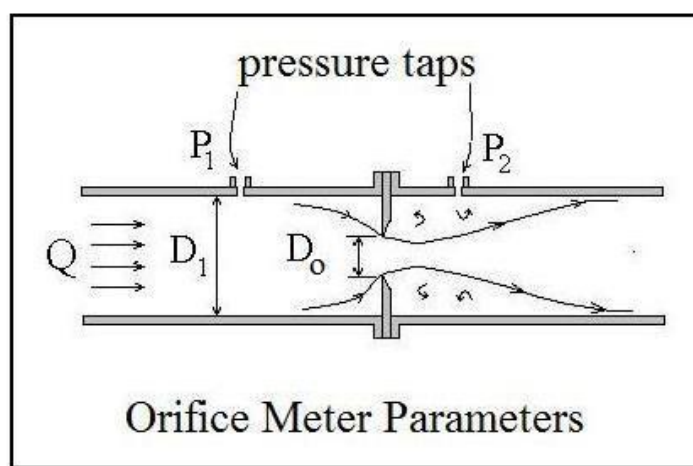
در رابطه فوق h مقدار ارتفاع نظیر فشار نسبت به سطح مبنا می باشد که مقدار نسبی آن از لوله پیزومتر قابل خواندن است. A_1 و A_2 به ترتیب سطح مقطع ۱ و ۲ می باشد.

نظر به اینکه قطر ونتوری در ورودی و خروجی برابر است، لذا افت فشار از رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta H = h_1 - h_2 \quad \text{معادله ۵}$$

▪ اریفیس متر

فلومتر اریفیس یکی از معمولترین اندازه گیری های فلو توسط ترانسسمیترهای اختلاف فشار می باشد. معمولترین نوع اریفیس یک صفحه فلزی صاف با یک سوراخ هم مرکز در صفحه میباشد که عمود بر جهت جریان نصب میشود.



شکل ۰.۲. اریفیس

وقتی سیال از اریفیس پلست عبور میکند، به دلیل کاهش سطح مقطع، سرعت آن افزایش مییابد و فشار آن کاهش مییابد. وقتی سیال از اریفیس خارج میشود، سرعت آن دوباره کاهش یافته و فشار آن افزایش مییابد. فلومتر اریفیس با استفاده از همین اختلاف فشار به وجود آمده توسط اریفیس در خط عبوری سیال و با استفاده از ترانسسمیترهای فشاری که فشار دو طرف اریفیس را اندازه گیری میکنند میزان فلو یا دبی سیال عبوری را محاسبه می کنند.

به علت شکل خاص اریفیس نمی توان از افت انرژی در دو طرف صفحه چشم پوشی نمود با توجه به اینکه مقدار تلفات انرژی قابل توجه بوده و اگر از آن صرفنظر شود خطای قابل ملاحظه ای در اندازه گیری بوجود می آید لذا باید تصحیحی در فرمول استفاده شده برای محاسبه دبی در نظر گرفت.

در شکل بالا D_i برابر ۱۴ میلیمتر و D_o برابر ۴۵ میلیمتر می باشد. به منظور کاربردی نمودن رابطه برنولی در عمل از ضریب تصحیح استفاده می شود که برای هر یک از دستگاه ها با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$Q = KA_1 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}} = KA_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left(1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right)}} = KA_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{\left(1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right)}} \quad \text{معادله ۶}$$

$$K = \frac{Q_m}{Q_c} \quad \text{معادله ۷}$$

که در آن Q_c دبی محاسبه شده از رابطه برنولی و Q_m دبی اندازه گیری شده واقعی می باشد. مقدار K عموماً تابع شکل مشخصات دستگاه و میزان دبی و مشخصات سیال عبوری است. ضریب تخلیه دستگاه K برای اوریفیس خاص نصب شده روی دستگاه مقدار ۰٫۶۰۱ است.

افت انرژی در هر قسمت و تعیین ضرایب افت

به کمک رابطه برنولی می توان مقدار افت انرژی در هر قسمت را محاسبه نمود. از طرف دیگر معمولاً افت انرژی را بصورت مضربی از انرژی جنبشی ورودی به آن قسمت به صورت رابطه زیر نشان می دهد.

$$\Delta H_m = K \frac{v_m^2}{2g} \quad \text{معادله ۸}$$

نظر به اینکه قطر ونتوری در ورودی و خروجی برابر است، لذا افت فشار از رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta H = h_1 - h_2 \quad \text{معادله ۹}$$

حال با تعیین افت انرژی و انرژی جنبشی ورودی می توان ضریب افت K هر قسمت را به کمک روابط بالا بدست آورد.

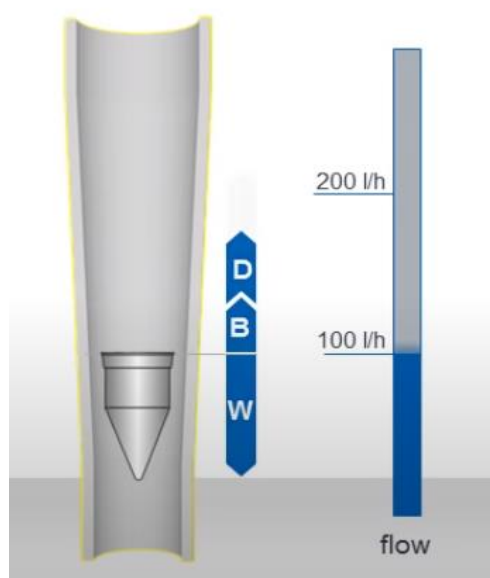
▪ روتامتر

دوارسنج از یک لوله شفاف با قطر متغیر و وزنه ای مخروطی شکل در داخل آن تشکیل شده است. وقتی سیال جریان ندارد وزنه مخروطی در پایین ترین وضعیت قرار داشته و هیچگونه فاصله بین وزنه و جداره های لوله وجود ندارد. هنگامی که جریان سیال

برقرار است در اثر نیروی وارده و لزوم وجود راهی جهت عبور آب، وزنه مخروطی به سمت بالا حرکت می کند. وزنه تا جایی بالا می رود که نیروهای وزن، شناوری و نیروی ناشی از حرکت سیال با یکدیگر در حالت تعادل باشند. نیروی وارده به وزنه در اثر جریان آب را نیروی دراگ نامیده شده و به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$F_D = C_D A \frac{\rho v^2}{2} \quad \text{معادله ۱۰}$$

که در آن C_D ضریب کشش، ρ چگالی، A سطح مقطع وزنه در مقابل آب و V سرعت متوسط سیال است. نیروی وزن و نیروی شناوری مقداری ثابت و تابع جنس و شکل وزنه می باشد. پس از ساخت دوارسنج ها، آنها را مدرج کرده و در کارخانه کالیبره (یا



واسنجی) می کنند. بدین معنی که دبی جریان را با وسیله مطمئن دیگری اندازه گیری کرده و برای هر ارتفاع از وزنه عدد مربوطه

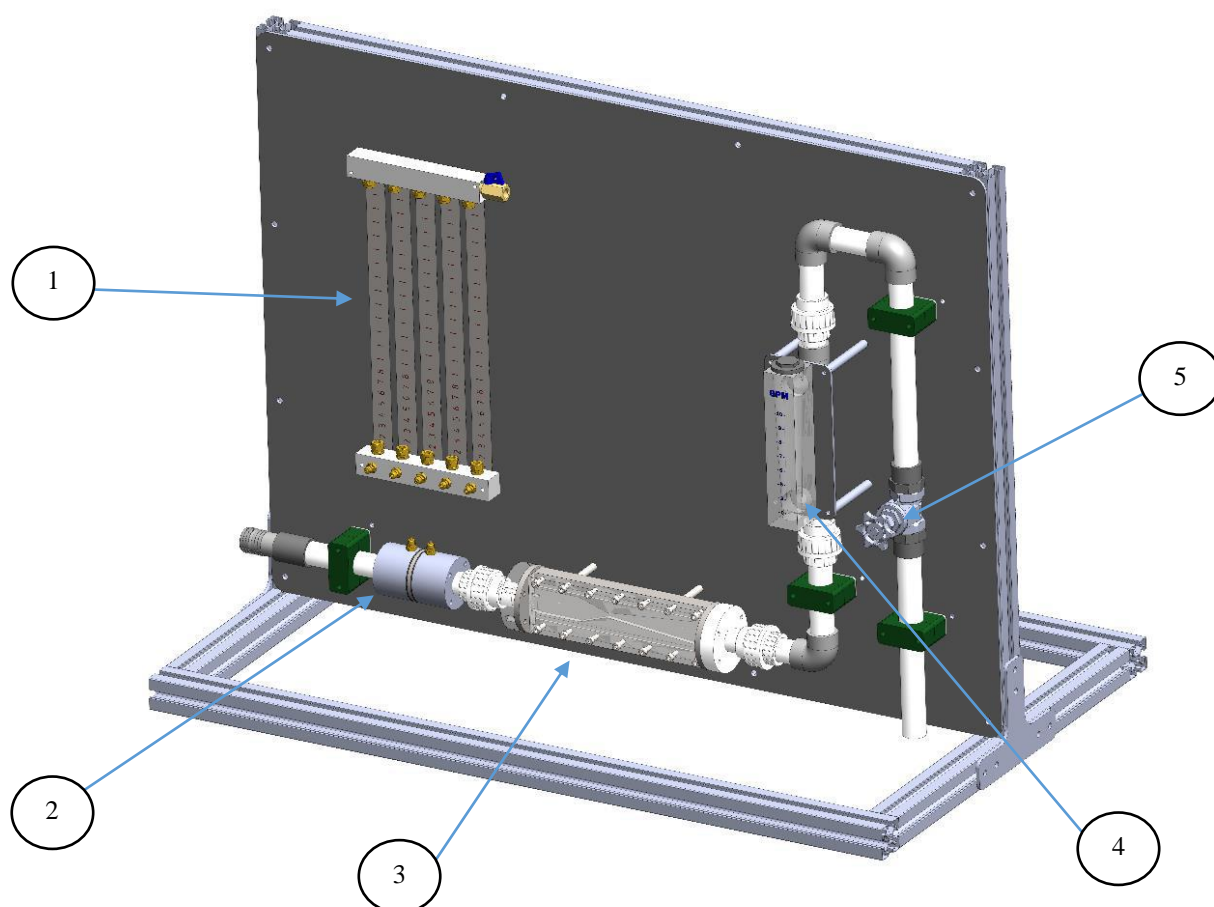
شکل 3. روتامتر

را یادداشت می کنند. نتایج نهایی به صورت نمودارهایی مطابق شکل ۳ ارائه می گردد. طبیعتاً نمودار مربوط به هر دستگاه باید به صورت مستقل تهیه شود. شکل ۳ مربوط به دستگاه این آزمایش می باشد.

با انتخاب حجم کنترلی مطابق شکل (۳) که شامل مخروط شناور باشد و با به کار بردن رابطه برنولی و تغییرات مقدار حرکت بین محل قرارگرفتن شناور (بستگی L) مقاطع ۱ و ۲ می توان نتیجه گرفت که افت انرژی بین این دو مقطع مقداری است ثابت و به ندارد. از طرف دیگر چون این افت به سرعت سیال در اطراف شناور بستگی دارد پس می توان نتیجه گرفت که سرعت سیال در اطراف شناور هم ثابت است. اگر مقدار سرعت سیال را با V و سطح مقطع گذر سیال را با A_f نشان دهیم میتوان مقدار دبی سیال را از رابطه زیر که در آن θ بر حسب رادیان است، بدست آورد.

$$Q = A_f V = \pi D_f L \theta V \quad \text{معادله ۱۱}$$

شکل دستگاه



- ۱- مانومتر
- ۲- اریفیس
- ۳- ونتوری
- ۴- روتامتر
- ۵- شیر تنظیم دبی

شرح دستگاه

دستگاه مورد آزمایش از قسمتهای اوریفیس متر، ونتوری متر و روتامتر تشکیل شده است. در قسمت خروجی دستگاه، شیری جهت تنظیم دبی نصب گردیده است. آب توسط میز هیدرولیک وارد دستگاه می شود. آب ورودی ابتدا وارد اوریفیس می شود، سپس از ونتوری عبور می کند و در ادامه وارد روتامتر می شود. در نهایت از یک شیر فلکه عبور کرده و از آنجا خارج می شود. به وسیله مانومترهای تعبیه شده می توان افت فشار در دو طرف اوریفیس و افت فشار درون ونتوری را محاسبه کرد.

روش انجام آزمایش

برای شروع کار با این دستگاه، ابتدا باید لوله های مانومتر از آب پر شوند و سپس هواگیری شوند، به همین منظور به طریق زیر عمل می کنیم:

- شیر ربع گرد بالای مانومتر، شیر فلکه انتهای دستگاه را باز کرده و سپس پمپ میز هیدرولیک را روشن کنید. (توجه داشته باشید که شیر کنترل دبی میز هیدرولیک در حالت کمی باز باشد).
- سپس شیر میز هیدرولیک را به مقداری باز کنید تا آب بطور کامل وارد لوله های مانومتر شود و از آنها هوایی خارج نگردد. (تا زمانیکه هوای مانومترها خالی شود این کار را ادامه دهید).
- پس از خالی شدن هوای مانومترها، با بستن شیر میز هیدرولیک، آب ورودی به دستگاه را متوقف کنید و پمپ را خاموش کنید. با این کار، آب درون لوله های مانومتر شروع به پایین آمدن می کند. در صورتیکه این اتفاق نیفتاد، شیر ورودی آب به دستگاه (شیر میز هیدرولیک) را کمی باز کنید تا آب درون مانومترها شروع به پایین آمدن کند.
- این کار را تا رسیدن ارتفاع آب درون مانومترها به ۲۰ سانتی متر ادامه دهید و در نهایت شیر میز هیدرولیک و شیر ربع گرد بالای مانومتر را ببندید.
- ابتدا اطمینان حاصل کنید که شیر فلکه انتهای مسیر بطور کامل باز باشد. حال با استفاده از شیر موجود روی میز هیدرولیک، دبی ورودی را طوری تنظیم کنید که ارتفاع آب در مانومتر چهارم به کمترین مقدار خود (۲-۳ سانتی متر) برسد.

در صورتیکه مراحل را به ترتیب انجام دهید، دستگاه آماده انجام آزمایش می باشد. می توان با بستن شیر فلکه انتهای مسیر، دبی را تغییر داد و اختلاف ارتفاع درون مانومترها را مشاهده کرد.

جهت انجام آزمایش، طبق مراحل گفته شده دستگاه را آماده کنید. سپس برای دبی های مختلف، اختلاف ارتفاع درون مانومترها را در جدول یادداشت کنید. مقادیر اندازه گیری شده را با مقادیر تئوری را مقایسه کنید.

خواسته ها

- ۱- منحنی تغییرات Q_m بر حسب Δh را برای اریفیس و ونتوری به صورت مجزا و سپس در یک صفحه به صورت مقایسه ای ترسیم نمایید.
- ۲- منحنی تغییرات Q_m بر حسب Q_c را برای اریفیس و ونتوری به صورت مجزا و سپس در یک صفحه به صورت مقایسه ای ترسیم نمایید. بهترین خط برازش منحنی وسایل اندازه گیری را ترسیم نمایید.
- ۳- مزایا و معایب هر کدام از این وسایل اندازه گیری را به طور نسبی توضیح دهید.
- ۴- چرا هرچه دبی بیشتر می شود وزنه روتامتر بالاتر می رود.
- ۵- در نصب ونتوری روی خطوط افقی، مورب و قائم در مورد هریک از سیالات گاز، مایع و بخار گرفتن خط انشعاب چگونه است.