

لطفاً برای صرفه‌جویی در مصرف کاغذ، این دستور کار را به صورت دورو چاپ کنید



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

گروه کنترل و سیستم

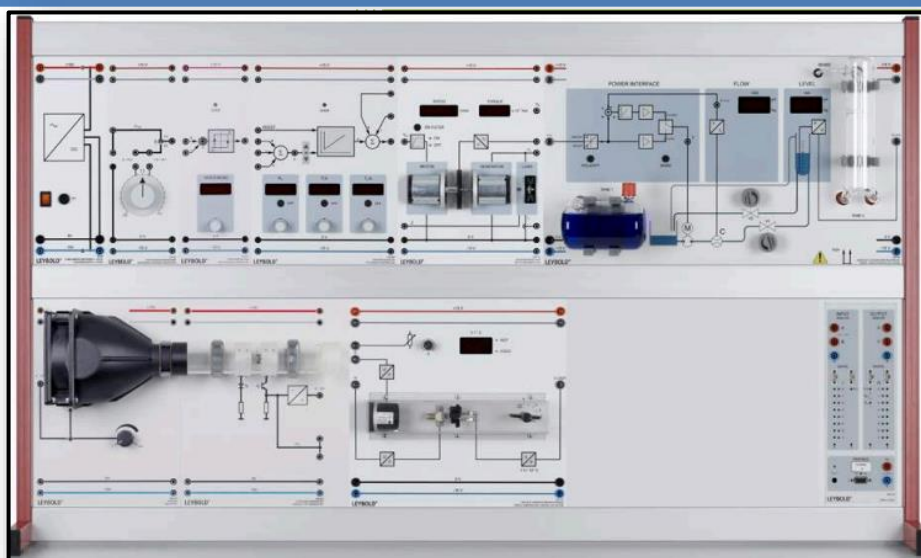
آزمایشگاه ابزار دقیق

سامانه اندازه‌گیری فشار، جریان و سطح

تعداد جلسات: ۱

پیش‌نیاز:

- ✓ آشنایی با اصل برنولی و کاربرد آن در لوله ونتوری
- ✓ آشنایی با عملکرد سنسور خازنی، پیزو، IR، مقاومتی



در صنایع فرآیندی کمیت‌هایی چون دما، فشار، سطح و جریان سیالات بیشتر در معرض اندازه‌گیری و کنترل قرار دارند. از پرکاربردترین نمونه‌های اندازه‌گیری جریان می‌توان به محاسبه غلظت، فشار، سطح، دما اشاره نمود. اندازه‌گیری و کنترل فشار ارزش بالایی را در صنایع تصفیه نفت خام، تولید گاز طبیعی و... دارد. اندازه‌گیری سطح و ارتفاع مخازن نیز اهمیت بالایی دارد و نمونه‌های زیادی از آن نظیر سنسورهای باک و وسایل نقلیه در زندگی روزمره استفاده می‌گردند.

K. N. Toosi University of Technology
Instrumentation Lab

Last update: 3/Sep/2023

E. Amini

H.R. Chavoshi

A. Khoshlahjeh

Website:

instlab.kntu.ac.ir

Email:

instlab@saba.kntu.ac.ir

Contents

| | |
|----|--|
| ۱ | فهرست مطالب |
| ۲ | بخش ۱- مختصری از تئوری |
| ۲ | ۱-۱- اندازه‌گیری فشار |
| ۲ | ۱-۱-۱- لوله ونتوری |
| ۲ | ۱-۱-۲- فشارسنج (مانومتر) لوله شیب‌دار (مورب) |
| ۳ | ۱-۱-۳- فشارسنج پیزوالکتریک |
| ۴ | ۱-۲- اندازه‌گیری جریان |
| ۴ | ۱-۲-۱- Thermal Anemometer |
| ۵ | ۲-۲-۱- Windmill |
| ۶ | ۱-۳- اندازه‌گیری سطح |
| ۶ | ۱-۳-۱- سنسور فلوتر (شناور) مغناطیسی |
| ۶ | ۱-۳-۲- سنسور خازنی |
| ۸ | ۳-۳-۱- سنسور فشار |
| ۹ | بخش ۲- فعالیت آزمایشگاهی |
| ۹ | ۲-۱- آزمایش جریان |
| ۱۰ | ۲-۲- آزمایش سطح |

بخش ۱- مختصری از تئوری

در این آزمایش با سامانه‌ای جامع برای اندازه‌گیری جریان، فشار و سطح سروکار خواهیم داشت. در قسمت اندازه‌گیری جریان و فشار یک فن برای ایجاد جریانی در مسیر هوایی بکار گرفته شده است که پس از عبور از لوله ونتوری اختلاف فشاری را ایجاد می‌کند. در فاز اول به کمک سنسورهای wind mill و thermal anemometer به اندازه‌گیری جریان سیال خواهیم پرداخت و از سنسور فشار پیزو برای اندازه‌گیری فشارهای متنوع ایجاد شده در لوله ونتوری استفاده خواهیم کرد. در قسمت دیگر به با سنسور خازنی و فشار به روش پیوسته و با یک سنسور فلوتر به روش گسسته برای اندازه‌گیری سطح اقدام خواهیم نمود. در ادامه به معرفی هر کدام از موارد فوق پرداخته شده است.

۱-۱- اندازه‌گیری فشار

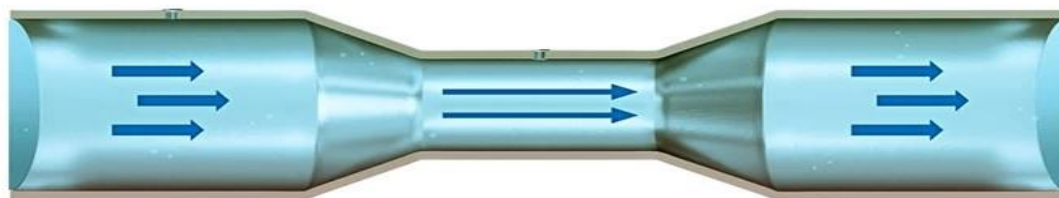
اندازه‌گیری و کنترل فشار سیال در صنایع فرآیندی امری ضروری و مهم است و روش‌ها متنوعی دارد. از گذشته تا کنون بوسیله مانومتر، بارومتر، فشارسنج‌های ارتجاعی (دیافراگمی، کپسولی، لوله‌بوردن (نوع C / حلزونی / حلقوی)، دمپری)، استرین‌گیج، فشارسنج‌های پیرانی، فشارسنج‌های نوری، فشارسنج‌های پیزو و انواع فشارسنج‌های پتانسیومتری یا خازنی به اندازه‌گیری فشار پرداخته شده است. در ادامه ضمن توضیح لوله ونتوری به عنوان ابزاری جهت تولید فشارهای مختلف در مسیر جریان یک سیال، نحوه عملکرد دو فشارسنج جیوه‌ای و پیزو را به عنوان ابزارهایی جهت استفاده در این آزمایش توضیح خواهیم داد.

۱-۱-۱- لوله ونتوری

لوله‌ای مشابه شکل ۱ با قطر متغییر است که در کاربرد عملی برای اندازه‌گیری جریان سیالات استفاده می‌شود. هنگامیکه مساحت لوله کم می‌شود طبق معادله پیوستگی سرعت آن قسمت افزایش می‌یابد و با توجه به معادله برنولی فشار در آن سطح مقطع کاهش می‌یابد.

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (\text{معادله پیوستگی})$$

$$P_1 - P_2 = (V_2^2 - V_1^2) \quad (\text{معادله برنولی})$$



شکل ۱- لوله ونتوری

۱-۱-۲- فشارسنج (مانومتر) لوله شیب‌دار (مورب)

فشارسنج (مانومتر) لوله شیب‌دار (مورب) وسیله‌ای ساده برای اندازه‌گیری فشار است که دارای چند لوله متصل به هم بوده که افزایش فشار در هر کدام از آنها سبب کاهش سطح جیوه در آن می‌شود.

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در این سامانه یک فشارسنج (مانومتر) لوله شیب‌دار (مورب) داریم که دارای پنج لوله است که با متصل کردن هر کدام از آن‌ها به قسمت‌های مختلف لوله ونتوری می‌توان فشارهای متنوع را در لوله ونتوری مشاهده کرد.



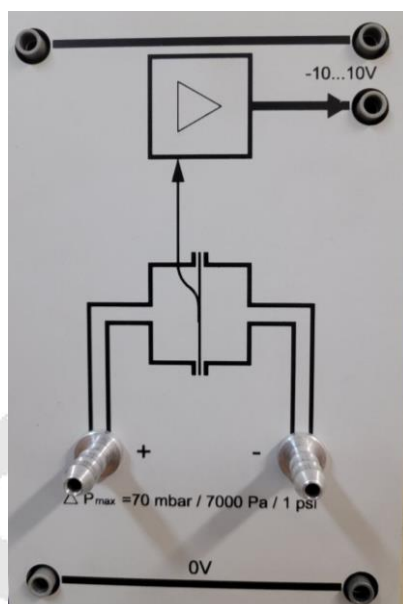
شکل ۲- فشارسنج جیوه‌ای

پرسش ۱- همانطور که در شکل ۲ قابل مشاهده است لوله‌های فشارسنج به صورت شیب‌دار (مورب) قرار داده شده‌است. دلیل این کار چیست؟

۳-۱-۱- فشارسنج پیزوالکتریک

فشارسنج پیزوالکتریک ابزاری است که برای اندازه‌گیری فشار یا نیروی مکشی به کار می‌رود. پیزو سنسورها به دلیل ویژگی‌های خاص از جمله حساسیت بالا، پاسخ دهی سریع، مصرف کم انرژی و دقت خوب در انواع صنایع کاربرد دارند. پیزو سنسورها می‌توانند به شکل‌های مختلفی مانند صفحه نازک مطابق شکل ۳ و دیسک‌های تراشه‌ای ساخته می‌شوند که به محض اعمال فشار مکانیکی تغییر در جریان الکتریکی یا ولتاژ ایجاد می‌کنند. این تغییرات در ولتاژ یا جریان می‌تواند به عنوان اندازه‌گیری فشار تفسیر شود.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی



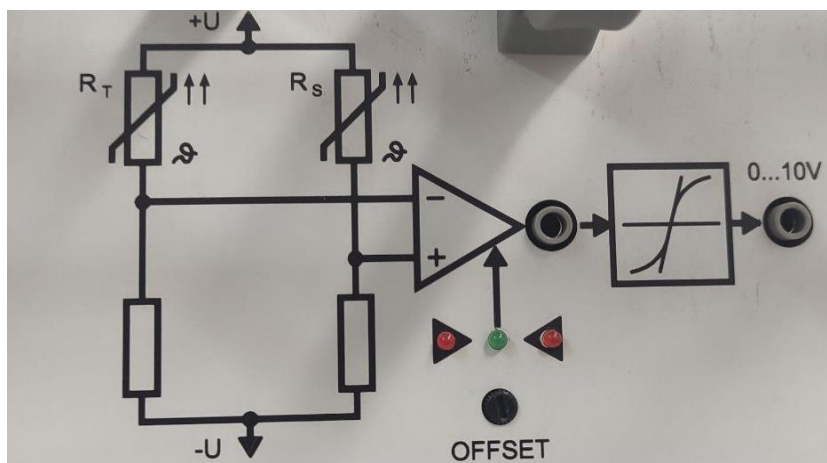
شکل ۳- سنسور پیزوالکتریک

۱-۲- اندازه‌گیری جریان

اندازه‌گیری جریان در صنایع به دلایل متنوع کنترل، نظارت، بهینه‌سازی فرآیند ها، ایمنی و تحقیقات مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای اندازه‌گیری جریان از روش‌ها و دستگاه‌های مختلفی استفاده می‌شوند که بسته به نوع سیال، محدوده جریان، دقت مورد نیاز و محیط کاربرد متفاوت اند. Thermal Anemometer و Windmill از جمله سنسور هایی است که از آن‌ها برای اندازه‌گیری جریان هوا استفاده می‌شود و در ادامه به معرفی این دو سنسور می‌پردازیم.

Thermal Anemometer - ۱-۲-۱

سنسوری مقاومتی است که دمای آن با عبور جریان الکتریکی افزایش می‌یابد و عبور جریان هوا از سطح آن سبب کاهش دما و تغییر مقاومت می‌شود. مطابق شکل ۴، در این سامانه برای اندازه‌گیری تغییرات مقاومت از پل وتستون استفاده شده و R_T سنسور است و R_S مقاومت متغییری برای متعادل کردن پل می‌باشد تا مقدار خاصی از سنسور به خروجی صفر پل نگاشت شود (صفر شدن ولتاژ خروجی پل در صفر اندازه‌گیری سنسور). متعادل سازی پل با پتانسیومتر $offset$ قابل‌انجام است و سه LED دارد که رنگ سبز آن به معنای تعادل پل بوده و دو رنگ دیگر $+/-$ بودن خروجی پل را نمایش می‌دهند. در نهایت نیز تقویت و خطی‌سازی به منظور نگاشت مقادیر مختلف جریان به بازه ۰ تا ۱۰ ولت روی صورت گرفته است.



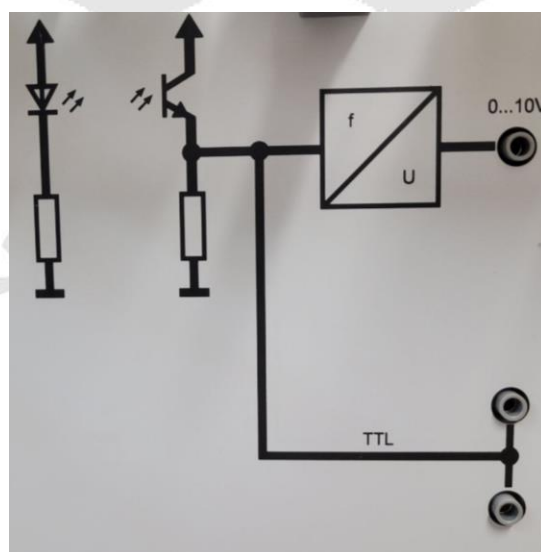
شکل ۴- ساختار اندازه‌گیری جریان بوسیله سنسور Thermal Anemometer

۱-۲-۲- Windmill

کلمه Windmill به معنای آسیاب بادی بوده و در این روش عبور جریان سبب چرخش پره‌ای مانند شکل ۵ می‌گردد که مطابق شکل ۶ باعث قطع و وصل شدن یک فرستنده و گیرنده مادون قرمز گردیده و تولید پالس می‌نماید. در این سامانه برای اندازه‌گیری فرکانس پالس (که معیاری از سرعت چرخیدن پره و اندازه جریان است) از یک مبدل فرکانس به ولتاژ استفاده شده است.



شکل ۵- سنسور Windmill



شکل ۶- ساختار اندازه‌گیری جریان بوسیله سنسور Windmill

۱-۳-۱- اندازه گیری سطح

اندازه گیری دقیق سطح مواد، سیالات و تجهیزات می تواند تاثیر مهمی بر عملکرد و بهره وری فرآیند و سیستم داشته باشد. برای اندازه گیری سطح، از روش ها و دستگاه های مختلفی استفاده می شود که بسته به نوع محیط و ویژگی های سطح متفاوت اند. اندازه گیری سطح به وسیله سنسور های متنوعی از جمله سنسور فشار، سنسور فراصوت، سنسور رادار، سنسور فلوتر، سنسور خازنی و ... صورت میگیرد و در ادامه به معرفی سنسور فلوتر که به روش گسسته و دو سنسور فشار و خازنی که به صورت پیوسته سطح را اندازه می گیرند خواهیم پرداخت.

۱-۳-۱-۱ سنسور فلوتر (شناور) مغناطیسی

این سنسور بر اساس تغییر موقعیت فلوتر (یک جسم شناور) در محیط سیال، وضعیت خروجی را تغییر می دهند. مطابق شکل ۷ فلوتر درون مخزن آب قرار دارد وقتی سطح آب بالا می رود و فلوتر شناور می شود و تغییر موقعیت می دهد این تغییر موقعیت باعث تغییر سیگنال خروجی که به عنوان تشخیص حالت ON/OFF است به دستگاه منتقل می شود.



شکل ۷. سنسور فلوتر (شناور) مغناطیسی

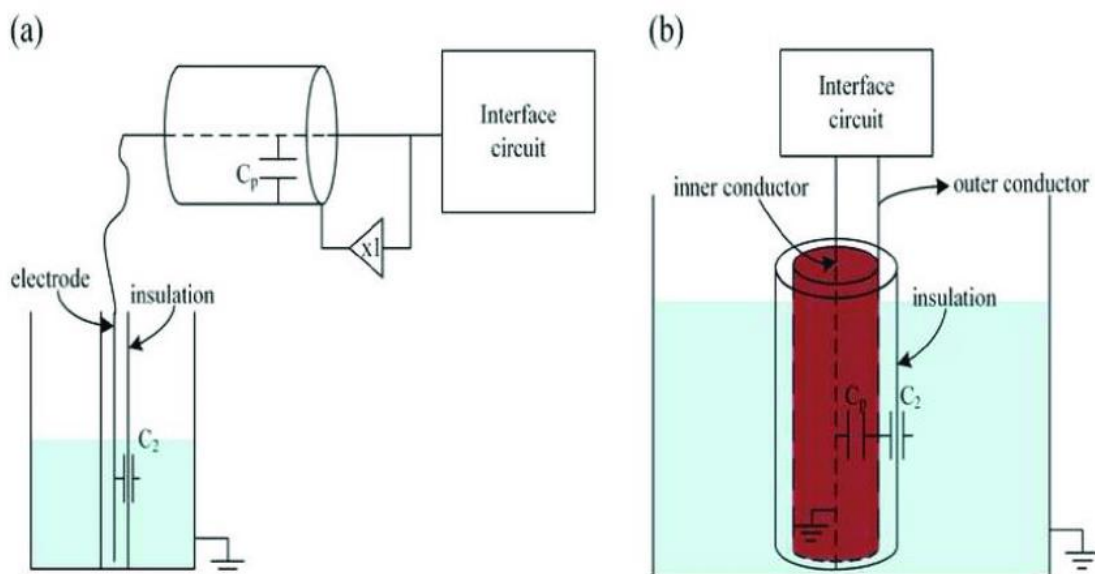
۱-۳-۲- سنسور خازنی

بطور کلی سنسورهای خازنی است از طریق تغییر ظرفیت دی الکتریک خود (بدون تماس و کنتاکت الکتریکی) اقدام به اندازه گیری می نمایند. این سنسورها برای تشخیص مواد غیر فلزی مانند شیشه، چوب، پلاستیک و... و کنترل سطوح در مخازن پر شده از مواد پودری، مایع و یا دانه دانه کاربرد فراوانی دارند. در این سامانه ما سنسور خازنی استوانه شکلی برای اندازه گیری

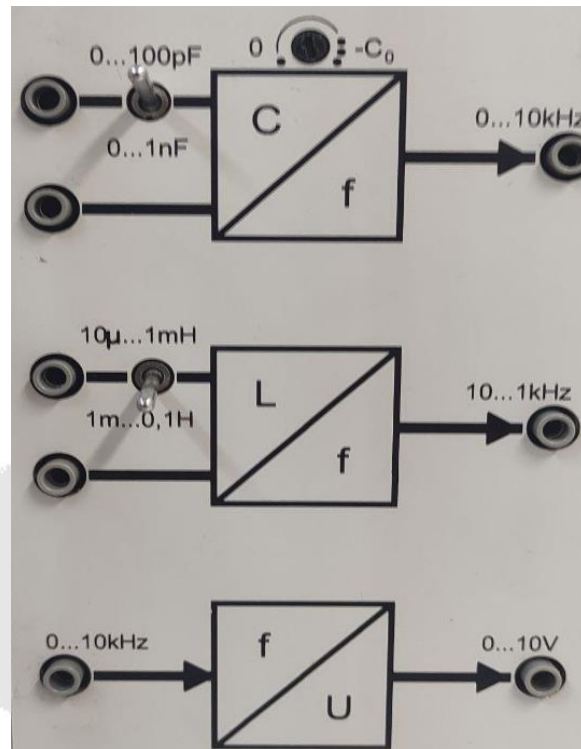
سطح داریم که مطابق شکل ۸ از دو صفحه استوانه‌ای شکل تو در تو تشکیل شده است و پرشدن سیال داخل مخزن، دی الکتریک آن را تغییر می‌دهد. در ادامه مطابق شکل ۹ توسط ۲ مبدل تغییرات ظرفیت خازنی به فرکانس تبدیل شده و سپس به ولتاژ تغییر می‌کند.



شکل ۸- سنسور خازنی



شکل ۹- نحوه عملکرد سنسور خازنی



شکل ۱۰- مبدل‌های ظرفیت خازنی به فرکانس، اندوکتانس سلفی به فرکانس و فرکانس به ولتاژ

۱-۳-۳- سنسور فشار

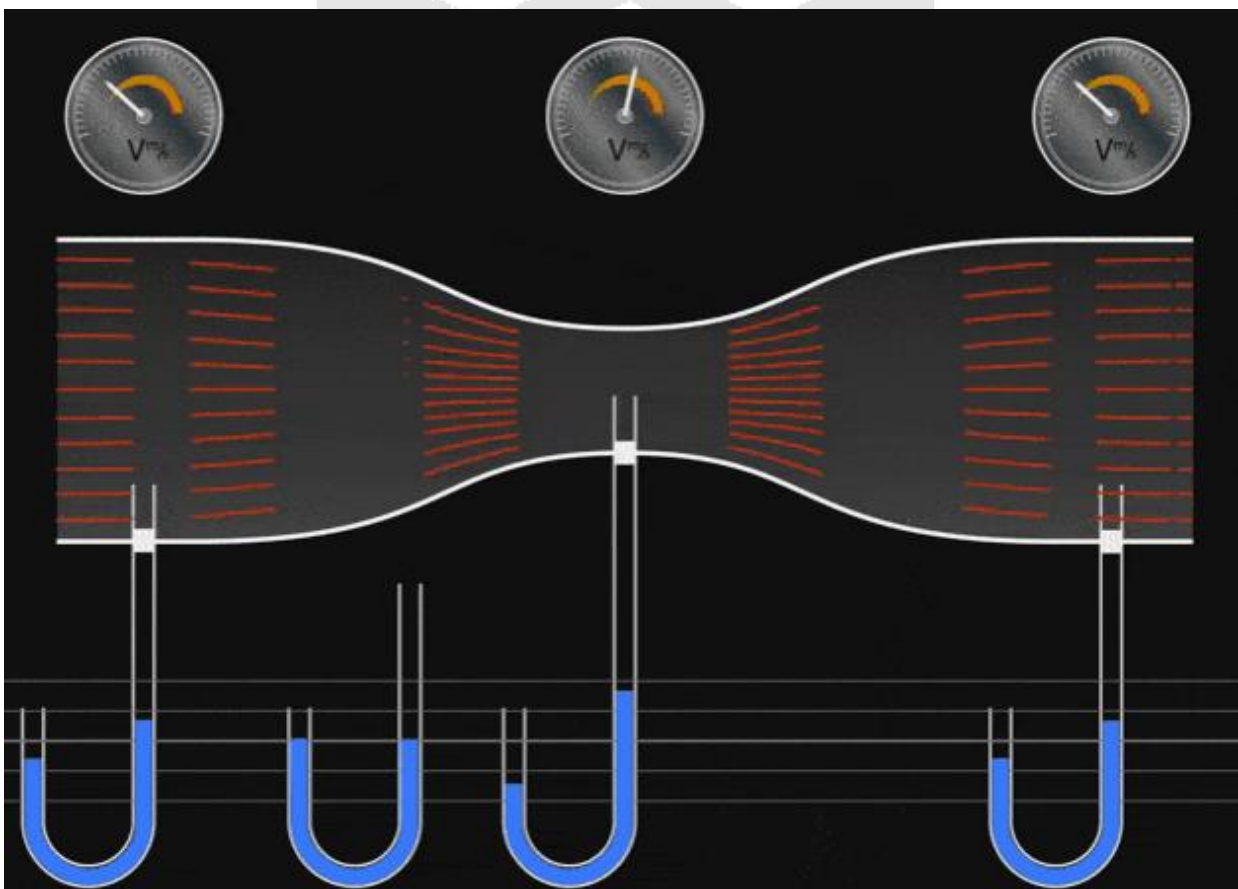
از روش‌های رایج اندازه‌گیری سطح استفاده از فشارسنج‌ها می‌باشد. وجود سیال در مخازن فشاری را به کف مخزن وارد می‌کند که بر اساس رابطه متناسب با ارتفاع سیال است.

پیشرفت‌های فراوان در حوزه سنجش فشار موجب رواج بسیار زیاد این روش در صنعت شده‌است و قابلیت اندازه‌گیری جریان به کمک لوله ونتوری و سنسورهای فشار نیز سبب اطلاق عنوان کاربردی‌ترین سنسور دستگاه‌ها به سنسورهای فشار گردیده‌است.

بخش ۲- فعالیت آزمایشگاهی

۲-۱- آزمایش جریان

در این آزمایش با سه روش مختلف اندازه‌گیری دبی سیال هوا بطور همزمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری جریان به کمک سنسورهای Windmill و Thermal Anemometer در قسمت‌های قبلی توضیح داده شدند. با توضیح لوله ونتوری و سنسورهای فشار، مقدمات اندازه‌گیری جریان توسط آنها فراهم خواهد شد. مطابق شکل ۱۰ و بر اساس معادلات پیوستگی و برنولی می‌توان گفت:



شکل ۱۰- اندازه‌گیری جریان به کمک فشارسنجی در نقاط لوله ونتوری

لذا می‌توان با اندازه‌گیری اختلاف فشار دو نقطه از لوله ونتوری بوسیله سنسور فشار پیزو، جریان را از رابطه بالا محاسبه نمود.

پس از تنظیمات فن بگونه‌ای که بتوان ولتاژهای جدول زیر را ساخت، خانه‌های خالی جدول را تکمیل نمایید.

| Venturi Tube(v) | Thermal Anemometer(v) | Windmill (v) | تغذیه فن (v) |
|-----------------|-----------------------|--------------|--------------|
| | | | ۱ |
| | | | ۲ |
| | | | ۳ |
| | | | ۴ |
| | | | ۵ |
| | | | ۶ |
| | | | ۷ |
| | | | ۸ |
| | | | ۹ |
| | | | ۱۰ |

به کمک تولباکس cftool عملکرد هر سنسور را مشخص کرده و تحلیل خود را از نتایج بنویسید.

پرسش ۲- علت حرکت نکردن سنسور Windmill در جریان‌های کم چیست؟ چه راه‌حلی را برای این مشکل ارائه می‌دهید؟

پرسش ۳- خروجی سنسور حرارتی در ابتدا خیلی ناپایدار است. دلیل این اتفاق چیست؟

۲-۲- آزمایش سطح

در این قسمت طی دو مرحله با استفاده از سنسور سطح خازنی و سنسور فشار پیزو ارتفاع تانک آب را پس تنظیم شیرهای ورودی و خروجی بوسیله پمپ افزایش داده و جدول زیر را تکمیل نمایید.

| ارتفاع آب (cm) | سنسور سطح خازنی (v) | سنسور فشار پیزو (v) |
|----------------|---------------------|---------------------|
| ۱ | | |
| ۲ | | |
| ۳ | | |
| ۴ | | |
| ۵ | | |
| ۶ | | |
| ۷ | | |
| ۸ | | |
| ۹ | | |
| ۱۰ | | |

به کمک تولباکس cftool عملکرد هر سنسور را مشخص کرده و تحلیل خود را از نتایج بنویسید.

پرسش ۴- علت اینکه در حین پر شدن مخزن آب درون لوله نیز کمی بالا می‌آید چیست؟