



نام درس: روش‌های اندازه‌گیری پیشرفته – ابزارهای اندازه‌گیری دبی (۲)

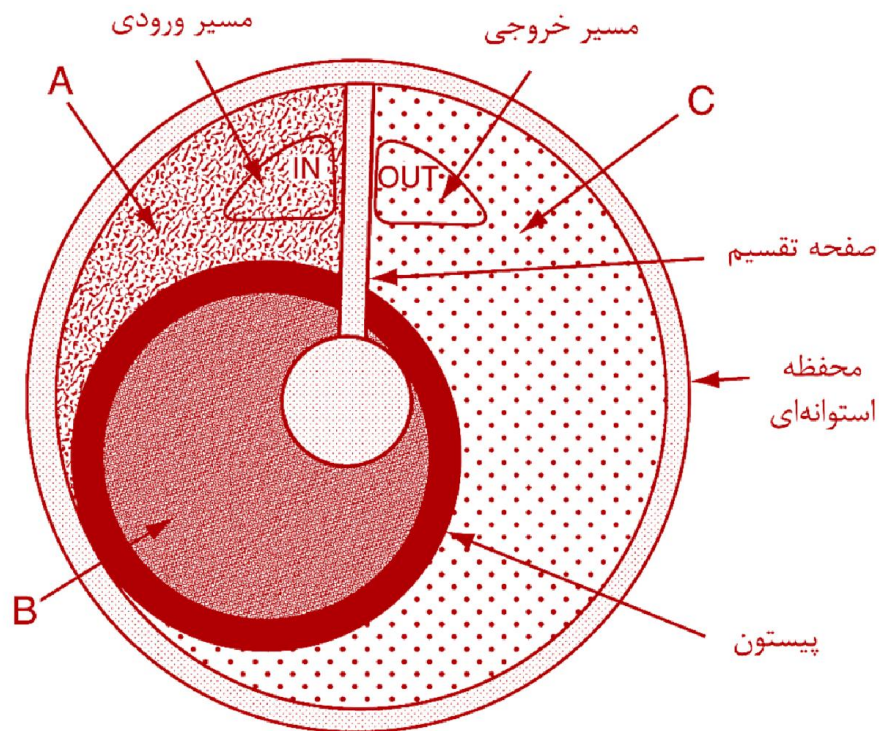
جلسه چهارم...: قسمت دوم

نام استاد: علی چائی بخش لنگرودی



دبی سنج جابجایی مثبت

دبی سنج جابجایی مثبت



در حدود ۱۰٪ کل تعداد فلومترهای مورد استفاده در صنعت و همچنین در کاربردهای سنجش مصرف گاز و آب در بخش خانگی است

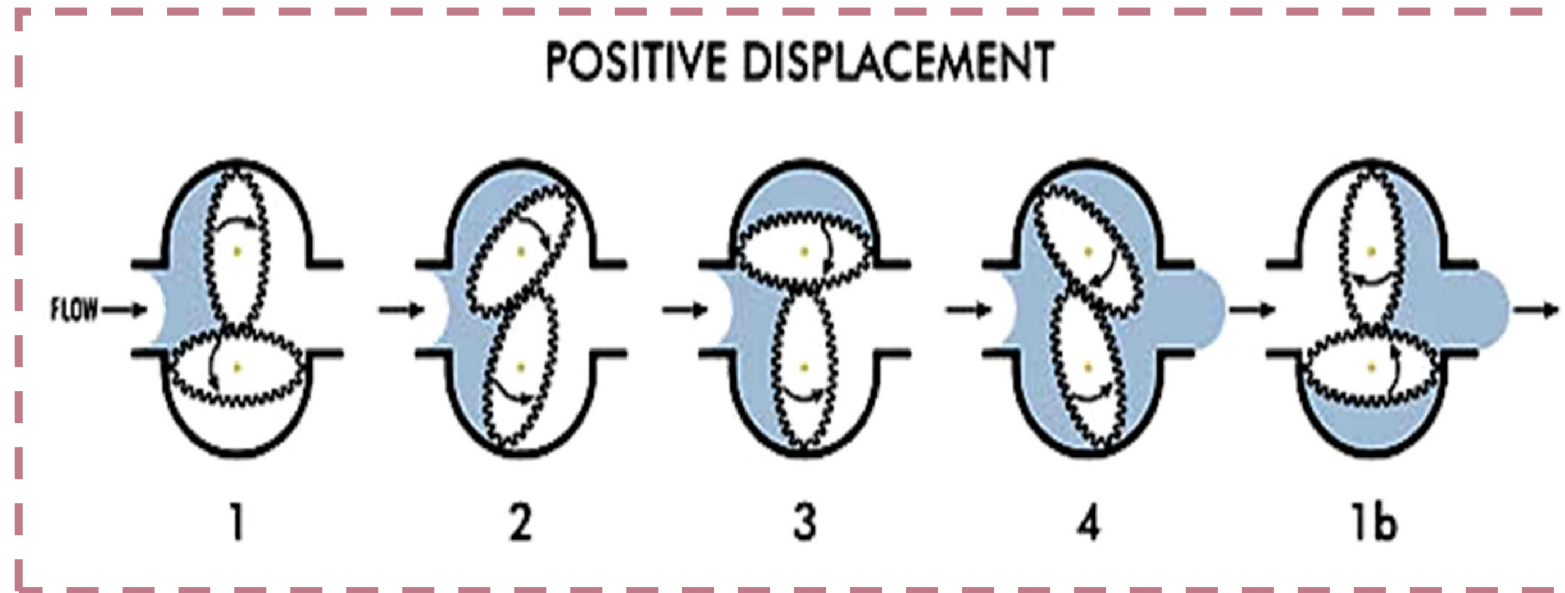
ارزان ترین ابزار اندازه گیری با نامعینی اندازه گیری در حدود ۲٪ که برای مدل های گران قیمت تر آن تا نامعینی اندازه گیری ۰/۵٪ نیز وجود دارد.



دبی سنج جابجایی مثبت

نحوه تعیین دبی سیال عبوری

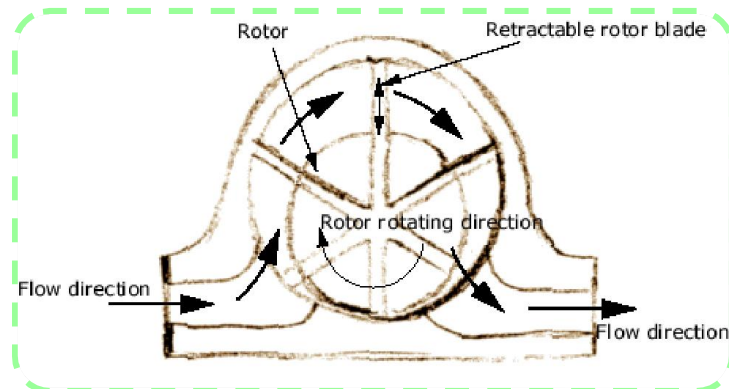
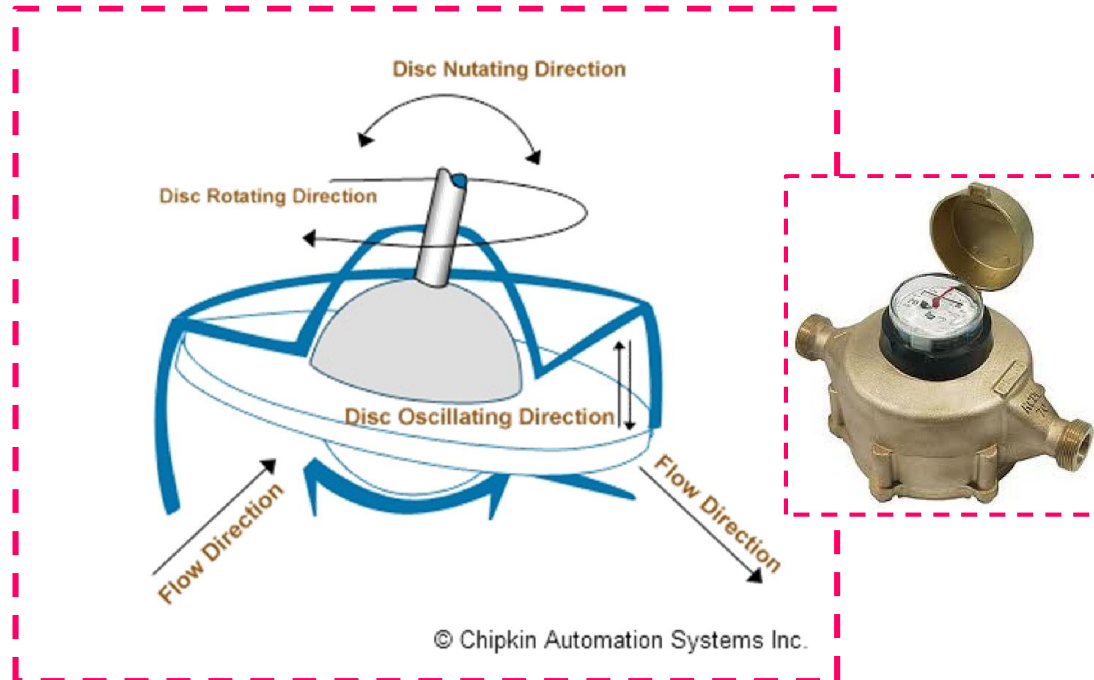
← مقدار دبی حجمی = مقدار حجم آب جابجا شده در هر بار تخلیه



دبی سنج جابجایی مثبت

✚ چرخ رقاصک

(nutating disk meter)



✚ شیر دوار

(Rotating Valve meter)

دبی سنج جابجایی مثبت

پیستون نوسانگر

(Oscillating Piston)



چرخ اوال

(oval gear meter)





دبی سنج جابجایی مثبت

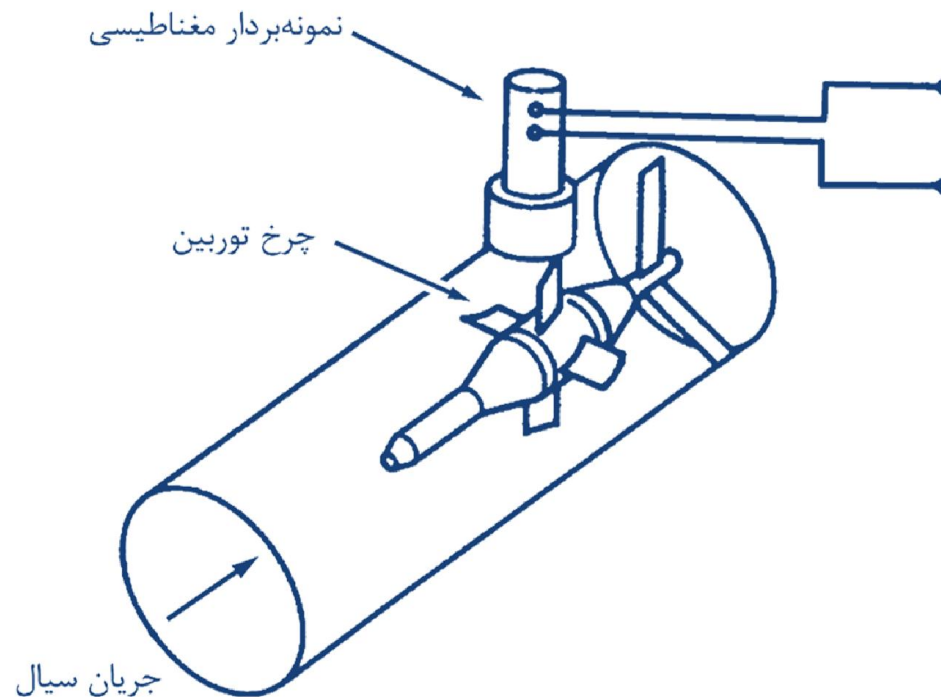
مشخصات دبی سنج جابجایی مثبت

- کاربرد: سیالات تمیز و غیرخورنده با ویسکوزیته بسیار پایین تا بسیار بالا
- نامعینی اندازه گیری: ۰/۲۵ تا ۱٪ در بازه کامل
- عدم محدودیت عدد رینولدز
- عدم نیاز به فاصله بالادستی (US) و پایین دستی (DS)
- محدوده پذیری: ۲:۱ تا ۱۰:۱
- افت فشار دائمی: بالا
- هزینه: بسیار پایین
- ابعاد موجود: ۰/۲۵ تا ۳ اینچ

دبی سنج توربینی (Turbine flowmeter)

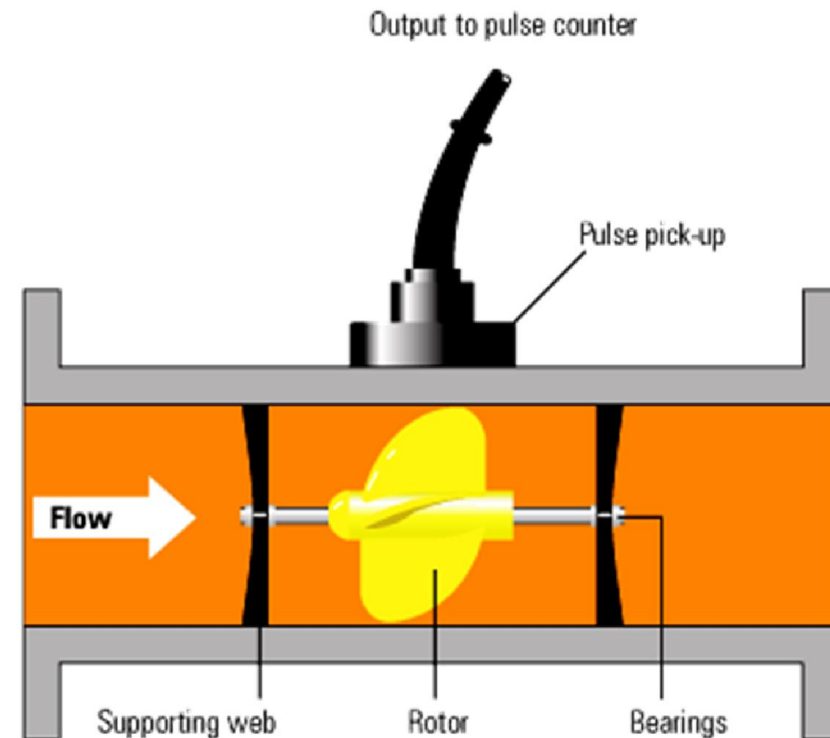
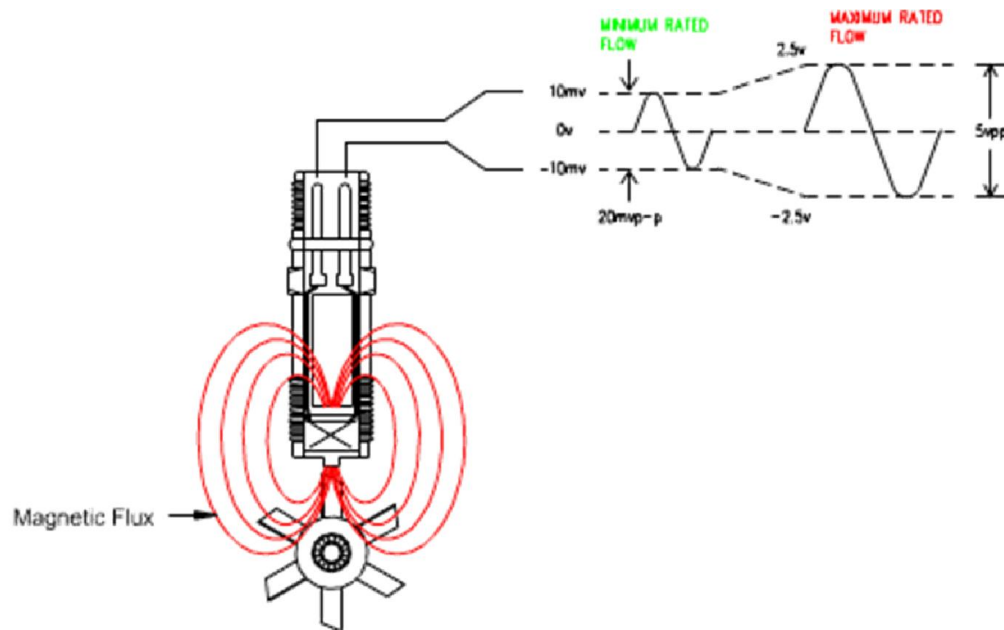
شامل یک پره که در مرکز لوله قرار گرفته و دارای پره‌های مغناطیسی است.

با رد شدن پره‌ها از جلوی نمونه بردار مغناطیسی مقدار دبی قابل محاسبه خواهد بود.



دبی سنج توربینی

نحوه عملکردی نمونه بردار





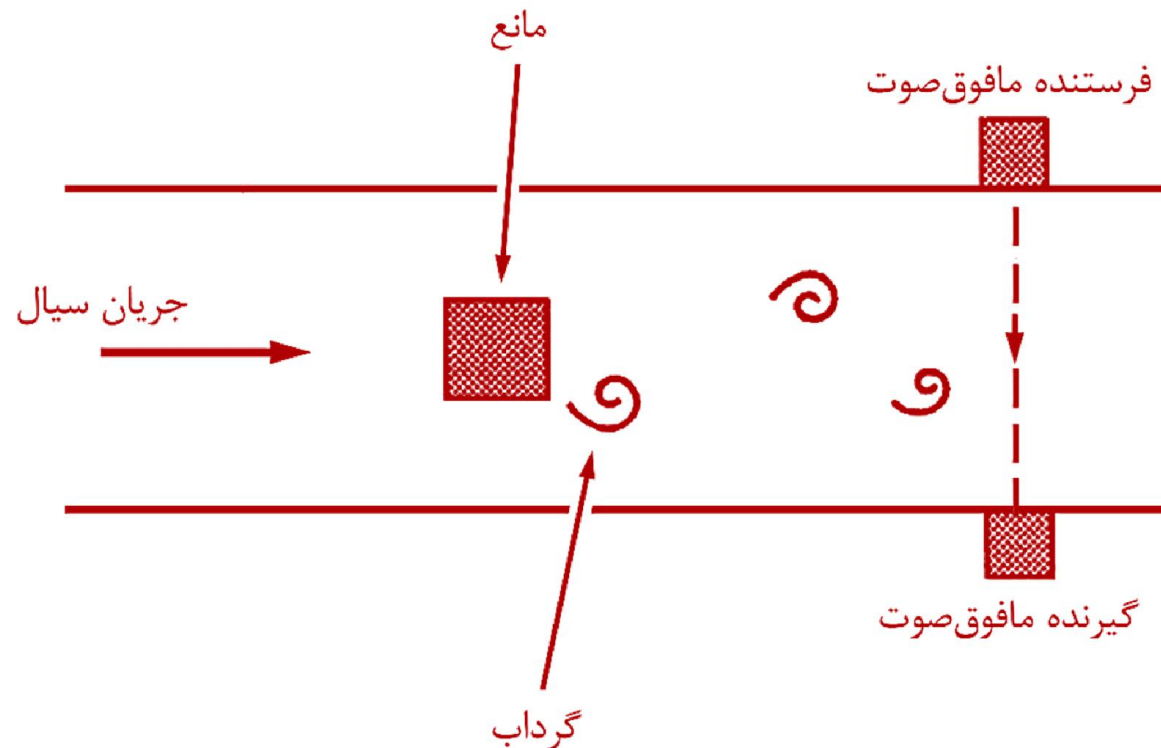
دبی سنج توربینی

مشخصات دبی سنج توربینی

- ▶ برای مایعات و گازهای تمیز
- ▶ برای سیالات با سرعت 0.3 m/s تا 10 m/s
- ▶ عملکرد بهتر برای سیال با عدد رینولدز $Re=4000$ تا $Re=20000$
- ▶ محدوده دمایی عملکرد -200 تا $+450$
- ▶ نحوه نصب: فقط افقی
- ▶ $US: 20 - 25D$ $DS: 15 - 20D$

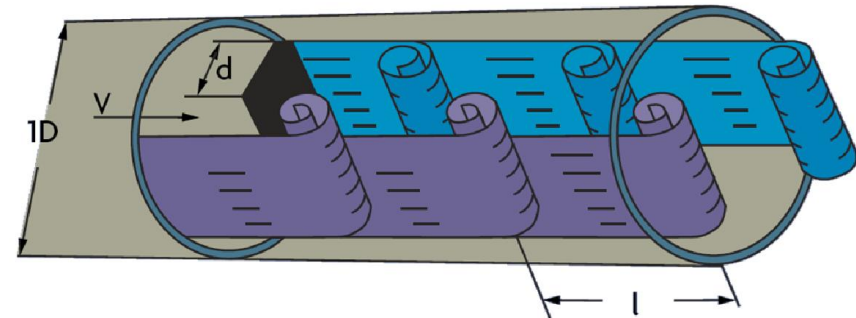
گردابی (Vortex-Shedding)

○ دبی سنج گردابی (ورتکس) برا اساس پدیده طبیعی تشکیل گردابه در صورت قرار گیری یک مانع در مسیر لوله حامل جریان است.



گردابی

- فرکانس گردابه های تولید شده متناسب با سرعت سیال است.
- روش حرارتی، مغناطیسی، التراسونیک و خازنی از روشهای آشکارسازی گردابه است.
- معمولا به عنوان جایگزین ونتوری در صنایع مورد استفاده قرار می گیرد.





گردابی

مشخصات دبی سنج گردابی

- ❖ برای گاز و مایعات
- ❖ محدوده عملکرد گسترده
- ❖ مصرف انرژی پایین
- ❖ نگهداری و تعمیرات اندک
- ❖ نامعینی اندازه گیری: $\pm 1\%$ در بازه کامل
- ❖ $US: 30 - 40D$ $DS: 30 - 35D$

دبی سنج مغناطیسی

ولتاژ القا شده در سیال توسط میدان مغناطیسی اندازه گیری می شود.
شامل

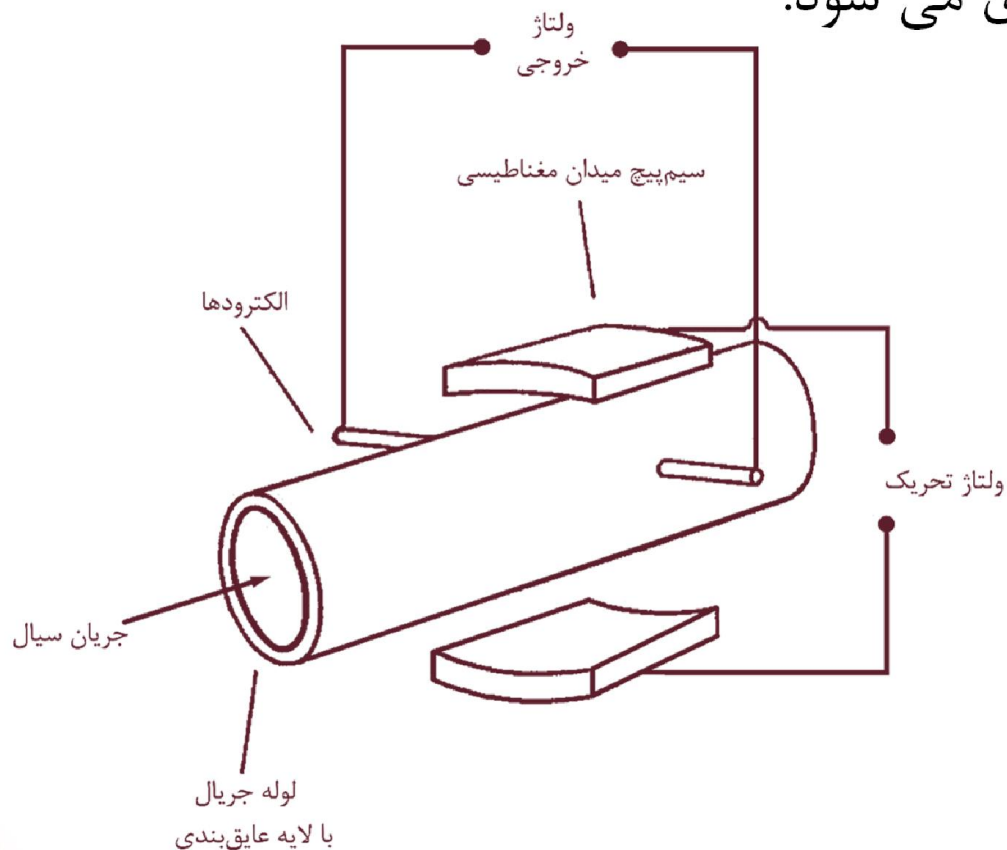
لوله استیل ضد زنگ

لایه عایق

نئوپرین، پلی اورتان، پلی فلورواتیلن

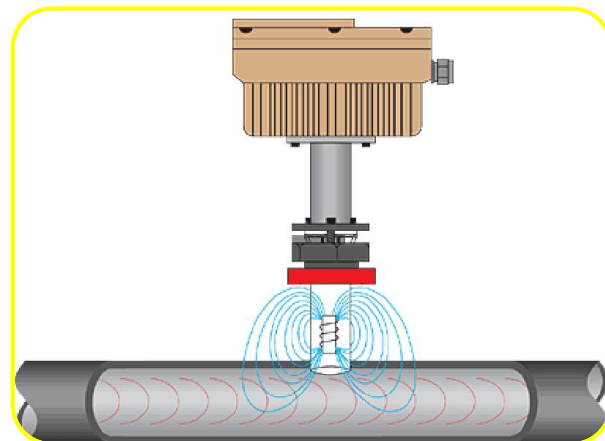
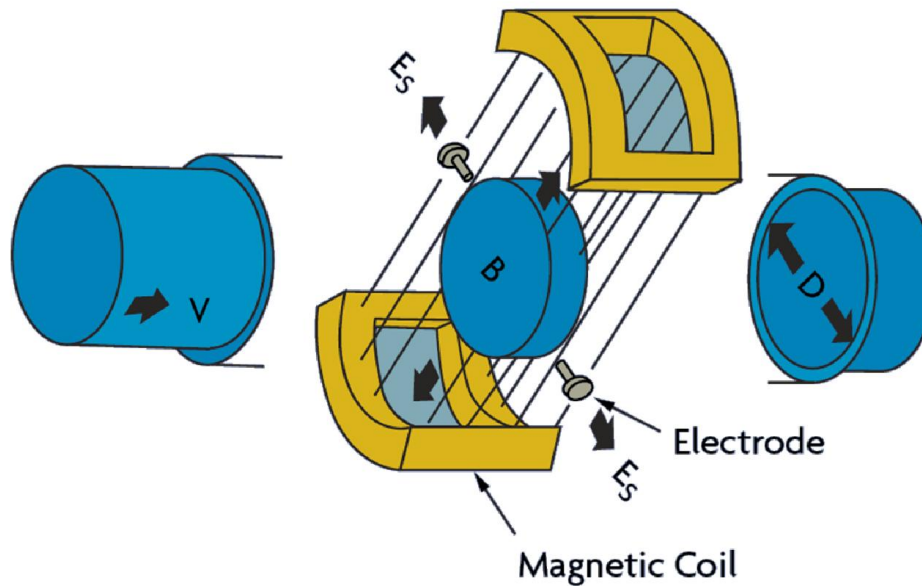
الکترودها

استیل ضد زنگ، پلاتین- ایردیوم، تیتانیوم، تانتال



دبی سنج مغناطیسی

$$E = B.D.V$$



ولتاژ معمول آشکار شده توسط الکترودها

۱ mV به ازای ۱ m/s. ✓



دبی سنج مغناطیسی

— فقط برای سیالات هادی

← حداقل گذردهی $1 \mu\text{mho}/\text{cm}^3$

— نامعینی اندازه گیری: ± 1

— هزینه بالا: خرید اولیه و استفاده به دلیل برق مصرفی

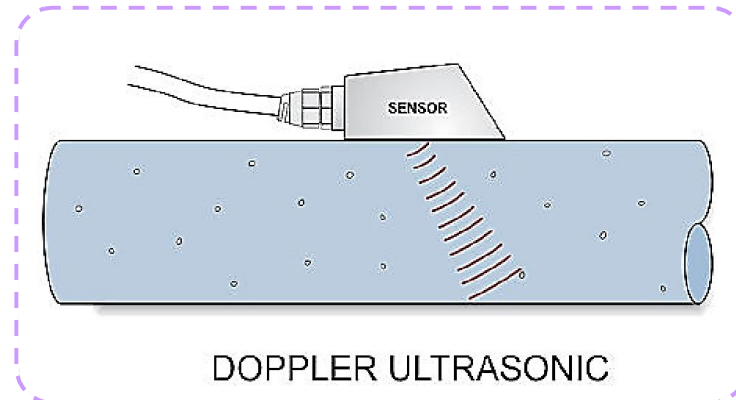
— عمر محدود به دلیل فرسایش لایه عایق توسط مواد خورنده

— $US: 5D \quad DS: 2 - 3D$

دبی سنج های التراسونیک

روش داپلر (Doppler shift ultrasonic)

- ✿ فرستند و گیرنده در خارج لوله با گیره متصل می شوند.
- ✿ امواج مافوق صوت با فرکانس 0.5 تا 20 مگاهرتز به داخل لوله ارسال می گردد.
- ✿ جریان سیال باعث ایجاد تغییر فاز در فرکانس ارسالی خواهد شد.
- ✿ گیرنده و فرستنده می توانند در یک سمت لوله قرار گیرند.

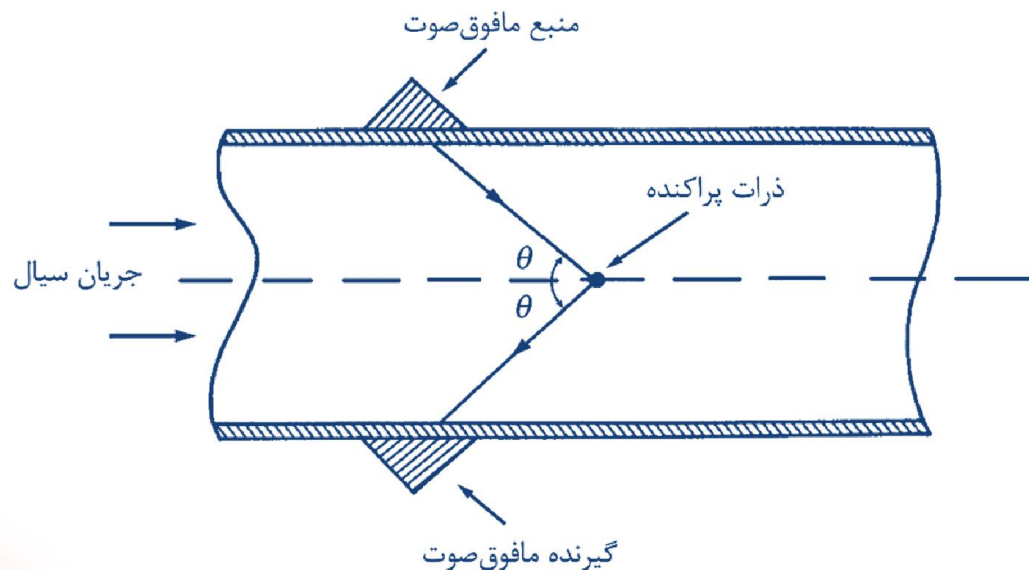


دبی سنج های التراسونیک

روش داپلر (Doppler shift ultrasonic)

سرعت سیال از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$v = \frac{c(f_t - f_r)}{2f_t \cos(\theta)}$$



فرکانس ارسال و دریافت f_r و f_t

سرعت صوت c

زاویه تابش امواج θ

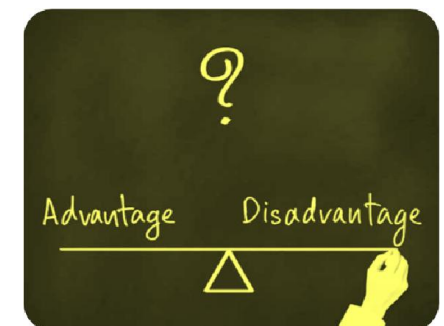


دبی سنج های التراسونیک

مزایا و معایب روش داپلر

نمونه نصب از خارج عوامل مختلفی نظیر ضخامت لوله، تعداد، اندازه و توزیع ذرات پراکنده ساز نظیر حباب هوا و ... سبب افت صحت تا $\pm 10\%$ درصد می شود.
به همین دلیل بیشتر به عنوان نشان دهنده جریان بکار می روند.

نمونه نصب شده در داخل لوله می توان نامعینی اندازه گیری کمتر از $\pm 0.5\%$ درصد داشته باشد.



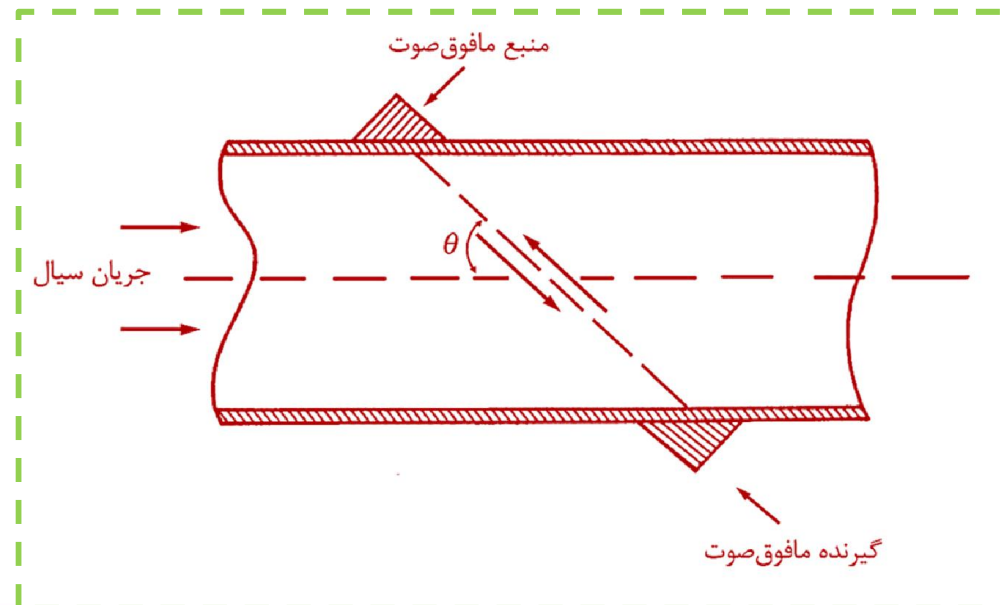
دبی سنج های التراسونیک

روش زمان عبور (Transit time ultrasonic)

در این روش زمان رفت و برگشت موج در طول مسیر مشخص محاسبه می شود.

تغییر در سرعت سیال سبب تغییر در این زمان می شود.

مقدار تغییر زمان در حدود 100 ns در $100 \text{ } \mu\text{s}$ کل زمان انتقال است.





دبی سنج های التراسونیک

روش های تعیین زمان عبور

روش مستقیم

تبدیل به تغییر فاز

تبدیل به تغییر فرکانس

در روش ۱ و ۲، نیازمند تعیین سرعت صوت در سیالات مختلف هستیم.

روش ۳ به دلیل عدم نیاز به تعیین صوت بیشتر مورد توجه است.



دبی سنج های التراسونیک

محاسبه بر اساس روش مستقیم

$$T_f = \frac{L}{c + v \cos(\theta)}$$

$$T_b = \frac{L}{c - v \cos(\theta)},$$

c سرعت صوت

L فاصله بین گیرنده و فرستنده

θ زاویه فرستنده با مسیر جریان

T_f زمان رفت

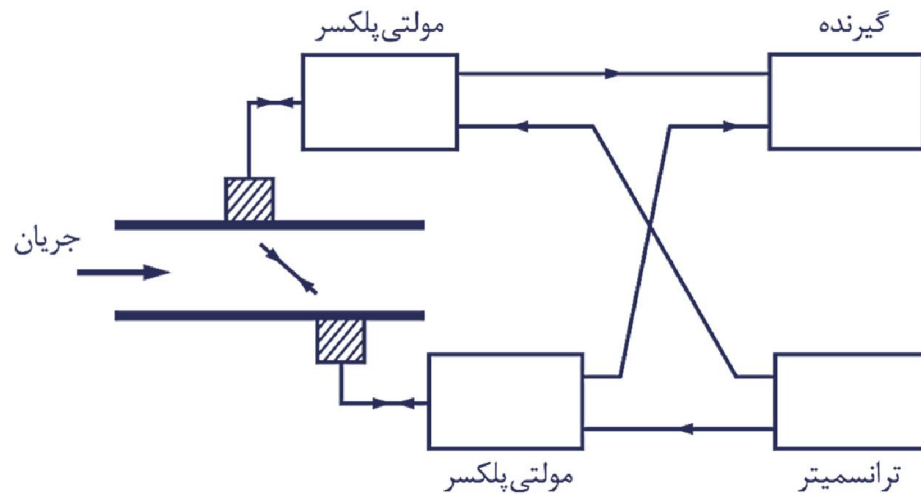
T_b زمان برگشت

نیاز به دانستن c وجود دارد.

$$\delta T = T_b - T_f = \frac{2vL \cos(\theta)}{c^2 - v^2 \cos^2(\theta)}.$$

دبی سنج های التراسونیک

○ محاسبه بر اساس تبدیل به فرکانس



○ C سرعت صوت

○ L فاصله بین گیرنده و فرستنده

○ θ زاویه فرستنده با مسیر جریان

○ F_f فرکانس پالس رفت

○ F_b فرکانس پالس برگشت

$$F_f = \frac{1}{T_f} = \frac{c - v \cos(\theta)}{L} \quad ; \quad F_b = \frac{1}{T_b} = \frac{c + v \cos(\theta)}{L}$$



دبی سنج های التراسونیک

$$\delta F = F_b - F_f = \frac{2v \cos(\theta)}{L}.$$

$$v = \frac{L \delta F}{2 \cos(\theta)}.$$

● نامعینی اندازه گیری این روش در حدود $\pm 0.5\%$ درصد است.

دبی سنج های التراسونیک

دبی سنج های التراسونیک



دبی سنج های التراسونیک

دبی سنج های التراسونیک



دبی سنج های التراسونیک

◀ التراسونیک داپلر

◀ On clamp-mode



کانال باز

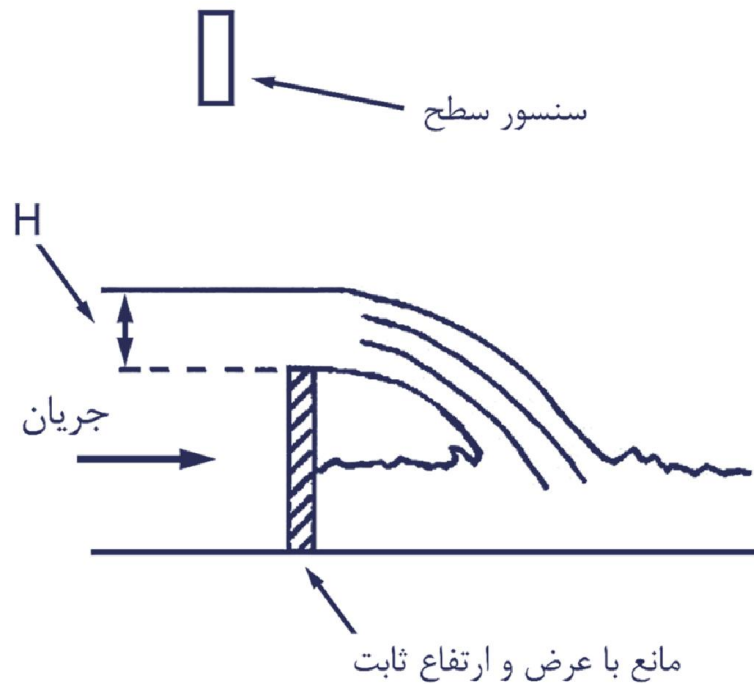
روش اول: دبی عبوری متناسب با ارتفاع پشت مانع محاسبه می شود.

در این صورت از سطح سنج های التراسونیک و رادار استفاده می شوند.

روش دوم: استفاده از دبی سنجهای مغناطیسی (با قطر ۱۸۰ mm)

در صورت بزرگتر بودن سطح مقطع کانال باید از چند سنسور استفاده شود.

روش سوم: استفاده از دبی سنجهای التراسونیک





سایر دبی سنج های حجمی

دبی سنج دروازه ای

دبی سنج هدفی

دبی سنج جت

دبی سنج چرخ پلتون

دبی سنج داپلر لیزری

بادسنج حرارتی

دبی سنج دروازه ای

❄ یک دبی سنج دروازه ای از یک دریچه لولایی با بارگذاری

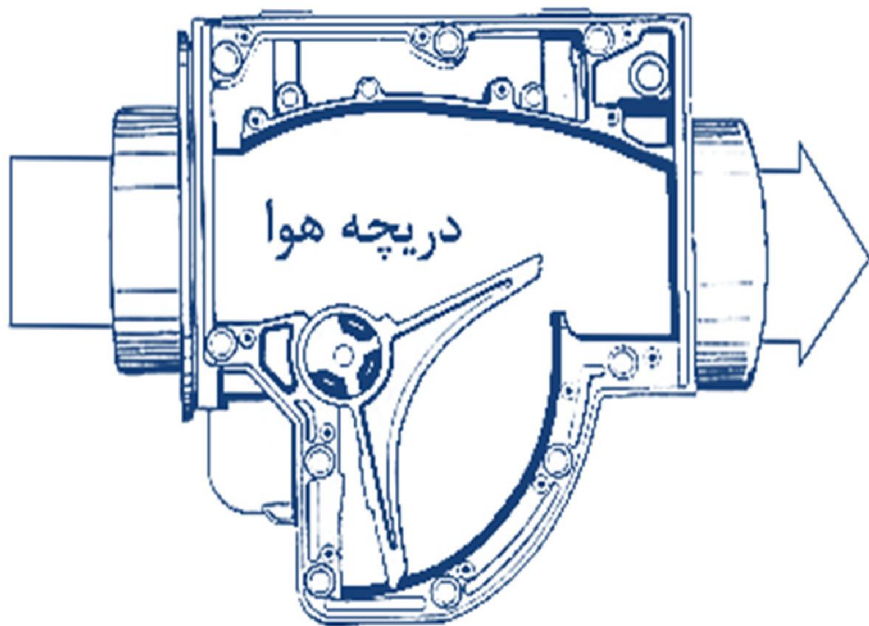
فنری تشکیل شده که در زوایای مناسب نسبت به جهت

جریان سیال در لوله حامل جریان قرار گرفته است

❄ جریان سیال، دریچه و نشانگر را منحرف کرده، دبی جریان

توسط یک مقیاس درجه بندی شده در پشت نشانگر

مشخص می شود.



دبی‌سنج هدفی (Target meter)



این ابزار از یک دریچه مدور به شکل دیسک در لوله، تشکیل شده است. دبی سیال از نیروی اعمالی به دیسک استنباط شده، که به واسطه فشارسنج‌های متصل به آن اندازه‌گیری می‌شود.



دبی سنج هدفی

مشخصات دبی سنج هدفی

- ◀ مناسب ابزار برای اندازه گیری جریان مایعات غلیظ دوغابی رقیق شده
- ◀ عدم اطمینان در اندازه گیری در همه این انواع بین ۱ تا ۵ درصد
- ◀ قیمت به نسبت بالا
- ◀ کاربرد گسترده ای ندارد

دبی سنج جت

این ابزار به دو صورت دبی سنج تک جته و دیگری دبی سنج چند جته موجود است.

جریان به داخل یک جت تنها منحرف شده که به پره های شعاعی آن برخورد می کند.

در نوع چندجته ، جریان را به داخل جت های چندگانه ای که در زوایای مساوی در اطراف پره چیده شده اند، منحرف می کنند.

پره ها بر روی یک محور افقی نصب شده است.



دبی سنج چرخ پلتون

دبی سنج آرایش مکانیکی مشابهی با چرخهای آب قدیمی مورد استفاده برای تولید انرژی دارد.

طیف گستردهای از مواد، شامل اسیدها، مواد شیمیایی خورنده، روغن داغ در مقیاس دبی جریان بالا و پایین مورد استفاده قرار می گیرد

برخی انواع خاص قادر به اندازه گیری دبی های بسیار کوچک تا

۳ ml/min می باشند





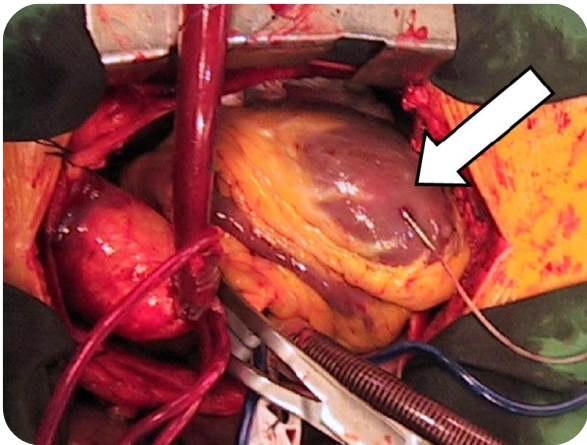
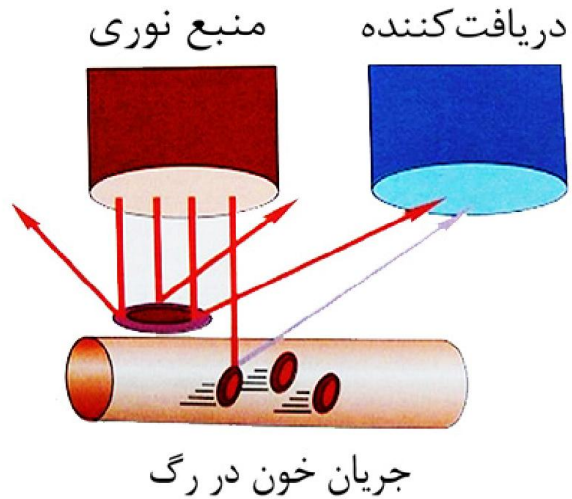
دبی سنج داپلر لیزری

این ابزار، سرعت جریان مایعات شامل ذرات معلق را مستقیماً اندازه گیری می کند.

نور حاصل از یک لیزر، به وسیله یک سیستم نوری به نقطه ای در جریان متمرکز شده، که معمولاً از کابل های فیبر نوری برای انتقال نور استفاده می شود.

حرکت ذرات موجب جابجایی داپلر نور ارسالی شده، سیگنالی را در یک آشکارساز نوری ایجاد نموده که متناسب با سرعت جریان مایع است.

دبی سنج داپلر لیزری



طیف گسترده‌ای از سرعت جریان بین $10 \mu\text{m/s}$ و m/s

10^5 را می‌توان با استفاده از این روش اندازه‌گیری کرد

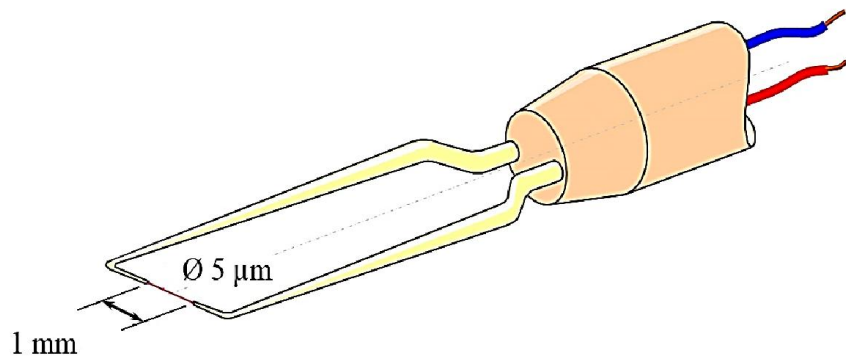
از کاربردهای آن اندازه‌گیری دبی خون در رگ‌ها و مویرگ‌ها

است

بادسنج حرارتی

بادسنج سیم-داغ متشکل از قطعه ای نازک (معمولا با قطر ۵ میکرومتر)، سیم گرمکن الکتریکی (معمولا تنگستن، پلاتین از یک آلیاژ پلاتین- ایریدیوم) بوده که در داخل جریان گاز قرار گرفته است.

گاز در جریان، اثر خنک کننده ای بر سیم داشته، مقاومت آن را کاهش می دهد

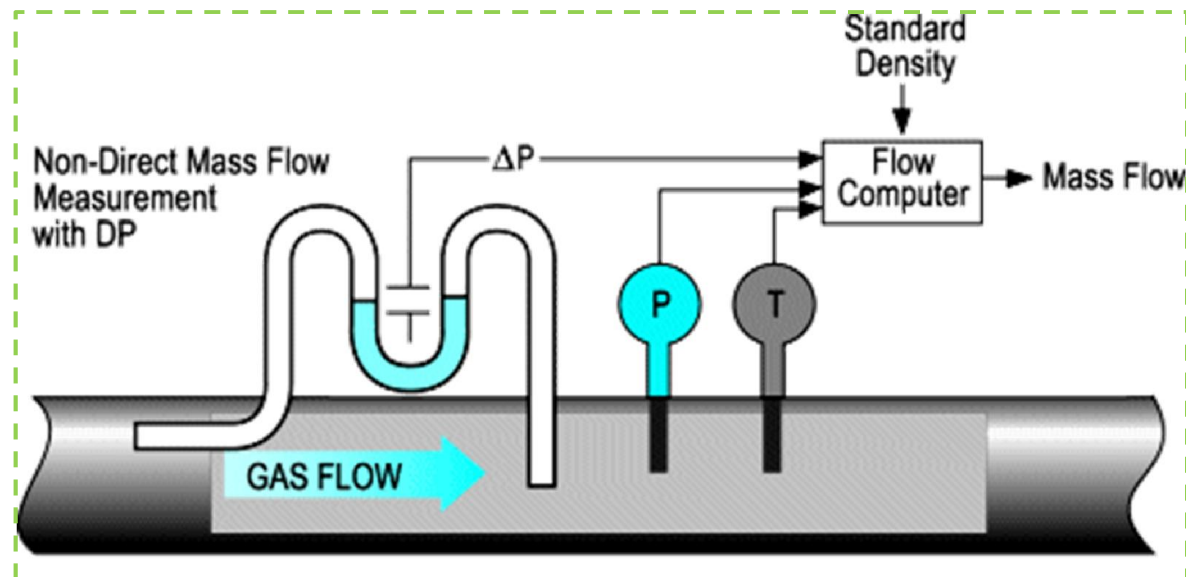


دبی‌سنج‌های هوشمند

تغییرات دما و فشار می‌تواند سبب تغییر چگالی سیال می‌شود.

در صورت استفاده از دبی‌سنج حجمی برای تعیین دبی جرمی این تغییرات سبب ایجاد خطا در مقدار دبی

جرمی خواهد شد.





دبی سنج های هوشمند

جبران سازی تغییرات دما و فشار

۱- در مایعات، تغییرات چگالی بیشتر وابسته به تغییرات دما است. این در حالی است که تغییرات فشار و دما هر دو بر روی چگالی گاز موثر هستند. در ساده ترین نوع ابزارهای هوشمند، می توان از رابطه زیر برای محاسبه

چگالی سیال بهره برد

$$\rho = \left(\frac{P}{P_{iso}} \right) \left(\frac{T_{iso}}{T} \right) \left(\frac{Z_{iso}}{Z} \right) \rho, \quad \text{بخار و گازها:}$$

$$\rho = \left(\frac{T_{nominal}}{T} \right) \rho, \quad \text{مایعات:}$$



دبی سنج های هوشمند

۲- استفاده از جدولهای ترمودینامیکی

استفاده از پردازنده در سنسورهای هوشمند، امکان ذخیره جداول ترمودینامیکی در حافظه این ابزارها را فراهم آورده است

با توجه به فشار و دما، مقدار چگالی سیال از جداول ترمودینامیکی با دقت بسیار بالا تعیین می شود.

این روش بخصوص برای سیال آب در فاز اشباع، فوق گرم و مایع متراکم کاربرد بسیاری دارد.



پایان جلسه چهارم