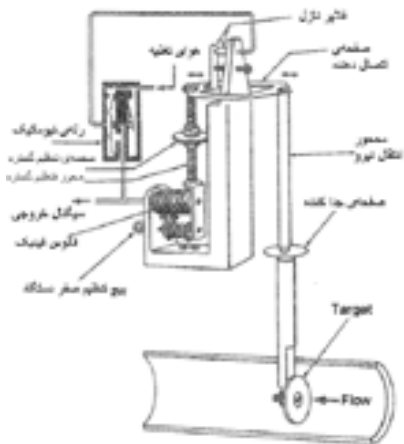


اندازه‌گیری جریان سیالات در صنعت

قسمت ششم



محمد حسن موحدی
اداره تحقیقات و استانداردهای
نفت (IPS)
movahed61@nipc.net
movahed61@gmail.com



شکل ۱ - نحوه ی کار و انتقال نیرو در تارگت متر با ترانسیمتر نیوماتیک



شکل ۲ - نقشه ی شماتیک یک نمونه از روتامتر و سازوکار نمایش جریان سیال

۵. اندازه گیری جریان به کمک شاخص نیرو

در این تکنیک که بسیار ساده اما پر کاربرد است، در اثر اصابت مستقیم سیال، به بخش متحرک و سازوکار تعبیه شده در دستگاه می تواند از شدت میزان نیروی وارد شده، جریان سیال را تخمین بزند. در برخی از دستگاه ها و با کاربرد خاص، مرحله ی بعد می تواند تبدیل رقم تخمین زده شده به یک سیگنال الکترونیک باشد. چون دقت بسیار بالایی از دستگاه انتظار نداریم، از این رو ساختمان این دستگاه ها نیز ساده بوده و در نتیجه قیمت آن نیز بسیار کم است. معمول ترین دستگاه هایی که از این روش استفاده می کنند عبارتند از:

- تارگت متر^۱
- روتامتر^۲

۱-۵. تارگت متر

همان گونه که شکل ۱ نشان می دهد، سیال به طور مستقیم به صفحه ی متصل به محور دستگاه که در مسیر جریان قرار دارد اصابت کرده سپس نیروی وارده را به بخش الکترونیک منتقل و امکان اندازه گیری نیرو فراهم می شود. هر چه میزان جریان بیشتر باشد، نیروی منتقل شده نیز بیشتر خواهد بود. همان گونه که می شود حدس زد، از مهم ترین ویژگی این دستگاه اندازه گیری امکان استفاده ی آن در اندازه گیری جریان مایعات کثیف است. هم چنین، با انتخاب جنس مناسب برای صفحه ی تارگت می توان دستگاه را برای اندازه گیری جریان مواد خورنده نیز استفاده نمود. در ضمن با توجه به این که در دستگاه از قسمت های متحرک نیز استفاده نشده است، برای مقابله با نشستی نیاز به تمهیدات خاصی وجود ندارد.

۲-۵. روتامتر

این دستگاه که به «فلومتر سطح متغیر»^۴ نیز معروف است دارای ساختمان و اصول ساده ی اندازه گیری می باشد. معمول ترین این دستگاه، از یک لوله ی شیشه ای مدرج و یک شناور تشکیل می شود. به دلیل شیشه ای بودن دستگاه، تحمل فشار در آن پایین بوده و برای خطوط جریان با فشار بالا کاربردی ندارد. بیشترین مورد استفاده ی دستگاه برای نمایش در سایت (برای قرائت در محل) یا حصول

- 1-Mechanism
- 2-Target Meter
- 3- Rotameter
- 4- Variable Area Flowmeter

اطمینان بهره‌بردار از عبور جریان در لوله است. از ویژگی‌های دیگر این دستگاه به لحاظ ساختمان آن، ضرورت نصب دستگاه به صورت عمودی است، لذا روی خطوط افقی کاربردی ندارد. روتامتر شیشه‌ای به لحاظ شفاف بودن، فقط در سیالات تمیز کاربرد دارد و اصولاً این دستگاه برای مایعات با گران‌روی بالا به کار نمی‌رود.

اصول اندازه‌گیری در روتامتر

با توجه به شکل ۴ نیروهای اعمال شده به شناور شامل سه نیروی زیر می‌شود:

- وزن شناور (Fg)
- نیروی رانش و شناوری، مطابق با اصل ارشمیدس (Fa)
- نیروی متناسب با میزان جریان سیال (Fs)

جمع جبری سه نیرو باعث متعادل شدن شناور و تثبیت آن می‌شود. با توجه به صفحه‌ی مدرج مقابل شناور، رقمی که نشان‌گر آن را نشان می‌دهد معادل میزان جریان عبوری از دستگاه است. کاربرد عمده‌ی این دستگاه برای نمایش محلی میزان جریان سیال (گاز و مایع) است، اما چنانچه حرکت شناور را توسط عنصری (مانند مغناطیس) به بیرون از دستگاه منتقل کنیم می‌توانیم توسط آشکارساز میزان جریان سیال را به سیگنال الکتریکی تبدیل نماییم.

۶. اندازه‌گیری جریان به کمک شاخصی سرعت سیال

اساس اندازه‌گیری جریان در این شیوه، اندازه‌گیری سرعت سیال داخل لوله به یکی از روش‌های معمول است. با داشتن سرعت سیال و با کمک رابطه‌ی زیر می‌توان میزان حجم سیال عبوری سیال را محاسبه نمود:

$$Q_p = A \cdot V$$

که در آن:

Q_p حجم سیال عبوری

A سطح مقطع لوله

V سرعت سیال

بدیهی است، دقت این گونه دستگاه‌ها متأثر از دقت نحوه‌ی اندازه‌گیری سرعت عبور سیال در لوله است. با اشاره به این موضوع که اولین عنصر مؤثر در اندازه‌گیری سرعت سیال شرایط فیزیکی آن (یعنی مایع یا گاز بودن) است بیان می‌دارد که در صنعت به یکی از چهار روش زیر اندازه‌گیری سرعت و در نتیجه جریان سیالات انجام می‌شود:

۱. اندازه‌گیری جریان سیال به کمک توربین^۷
۲. اندازه‌گیری جریان سیال به کمک میدان الکترومغناطیسی^۸

۳. اندازه‌گیری جریان به روش گردابی^۹

۴. اندازه‌گیری جریان به کمک امواج ماوراءصوتی^{۱۰}

در تمام چهار روش بالا صرفاً سرعت سیال اندازه‌گیری می‌شود و دقت اندازه‌گیری روش‌های فوق متفاوت بوده که در فرصت مناسب در مورد آن هم مقایسه‌ای خواهیم داشت. در ادامه به تشریح چهار روش یاد شده به تفکیک پرداخته خواهد شد.

۶-۱. اندازه‌گیری جریان سیال به کمک توربین

در این روش اندازه‌گیری جریان، در اثر تماس سیال در حال حرکت با پروانه‌های دستگاه، پروانه‌ها و در نهایت محور متصل به آن به گردش در خواهد آمد. حرکت چرخشی محور باید به روشی به سیگنال استاندارد و مورد اعتماد ما تبدیل گردد. اجزای دستگاه‌های مبتنی بر این روش شامل اقلام زیر می‌گردد:

- توربین با تعدادی پره که روی محوری در امتداد جریان سیال آزادانه می‌تواند به چرخش در آید.
 - یاتاقان^{۱۱} در دو طرف محور به انضمام نگه‌دارنده‌های آن
 - بخش الکترونیک و تولید پالس^{۱۱}
 - ترانسیمتر یا فرستنده‌ی سیگنال
- اندازه‌گیری جریان سیال به کمک توربین خود شامل چهار نوع مختلف بوده که از این فناوری به طور یکسان استفاده نموده‌اند ولی از نظر دقت و کاربرد دارای تفاوت‌هایی با هم می‌باشند:

- روتوری

- روتوری شانت/بای پاس^{۱۱}

- پره‌ی گردنده

- توربین مارپیچی

نوع معمول اندازه‌گیری جریان به کمک توربین، نوع روتوری آن است. نوع خیلی دقیق و گران این دستگاه، در اندازه‌گیری جریان محصولات هیدروکربوری به قصد فروش دارای کاربرد ویژه است. برخلاف توانایی و خاصیت تکرارپذیری بالای این شیوه‌ی اندازه‌گیری جریان، نباید از بعضی ضعف‌های آن به ویژه وابستگی و حساسیت اندازه‌گیری به جنس و خواص سیال و همچنین تأثیرپذیری دقت نسبت به گران‌روی (در مایعات) و رژیم جریان عبوری سیال می‌باشد، چشم‌پوشی نمود.

7-Vortex Flowmeter

8-Ultrasonic Flowmeter

9-Bearing

10- Pulse Pick Up

11-Bypass / Rotary Shunt Type

5-Turbine Flowmeter

6-Electromagnetic Flowmeter

اصول اندازه گیری جریان سنج توربینی

همان گونه که شکل ۶ نشان می دهد هر دستگاه اندازه گیری شامل یک توربین یا روتور بوده که حول یک محور روی پاتاقان ها می تواند به گردش در آید. سرعت چرخش این محور متناسب خواهد بود با انرژی جنبشی سیال داخل لوله و یا سرعت سیال. در نمونه های قدیمی تر دستگاه های توربینی، چرخش محور توربین به صورت مکانیکی به بیرون از دستگاه به صورت عقربه و یا یک شمارنده منتقل می شد. اما در نمونه های امروزی توسط بخش الکترونیک و به روش القایی با عبور هر کدام از پره ها از مقابل بخش الکترونیک یک پالس در خروجی ظاهر می شود. نحوه ی تشخیص تعداد دور توسط بخش الکترونیک خود به دو گونه است (انواع Up-Pick):

● خودالقایی^{۱۲} - قطعات بسیار ریز آهن ربا روی هر پره ی پروانه یا روی محور توربین نصب شده که با عبور مغناطیس از مقابل سیم پیچ، در خروجی آن پالس ساخته می شود.

● مقاومت مغناطیسی^{۱۳} - با ایجاد میدان مغناطیسی در سیم پیچ هایی که پره ها از مقابل آن عبور می کنند، میدان مغناطیسی موجود به همراه نوسان ایجاد شده در این میدان، شرایط تولید پالس را فراهم خواهد نمود.

شکل ۷ برش دو نمونه از Up-Pick به روش های گفته نمایش داده می شود.

فرکانس پالس خروجی بیانگر میزان جریان سیال خواهد بود. خروجی دستگاه های اندازه گیری توربینی که امروزه استفاده می شود نمایش حجم منتقل شده به صورت مستقیم و روی شمارنده نیست، بلکه خروجی به صورت پالس است. سازنده ی دستگاه، یک ضریب سنجش (Factor-K) یا رقمی منسوب به دستگاه مورد نظر را می دهد که بیانگر آن است که به چه تعداد پالس، یک واحد حجم سیال از توربین عبور کرده است. در بخش های بعدی در خصوص این رقم بیشتر صحبت خواهد شد.

رابطه ی حجم، سرعت سیال و تعداد دور توربین:

$$Q_v = v_m \cdot A = 2\pi \cdot n \cdot r_m \cdot \cot\beta \cdot A$$

که در آن:

Q_v جریان حجمی سیال

v_m میانگین سرعت سیال

A سطح مقطع لوله یا سطح مقطع سیال در حال

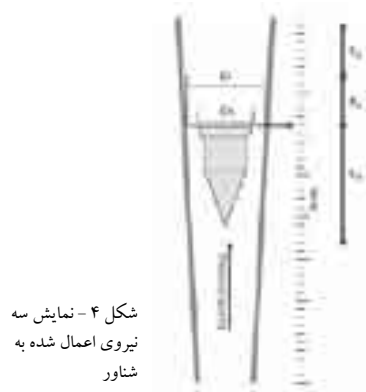
جریان

n سرعت یا دور محور توربین

r_m شعاع رتور

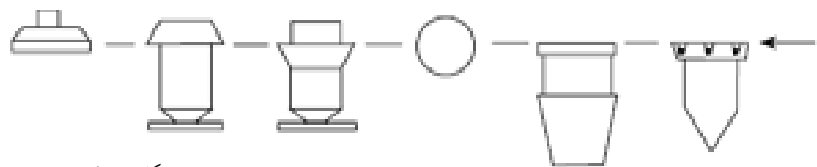
β زاویه ی پره ی توربین نسبت به محور جریان

سیال

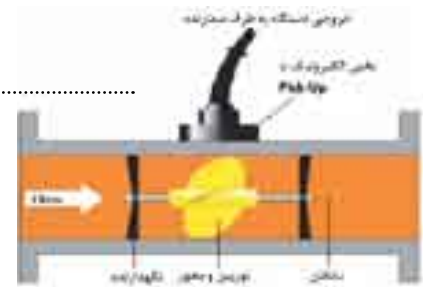


شکل ۴ - نمایش سه نیروی اعمال شده به شناور

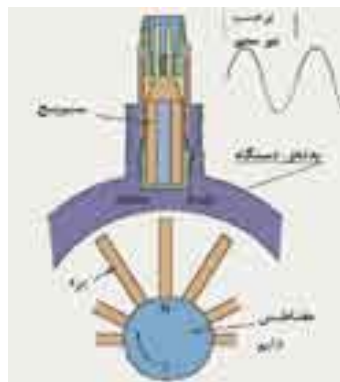
شکل ۳ - نمونه ای از روماتر با کاربرد در اندازه گیری محلی



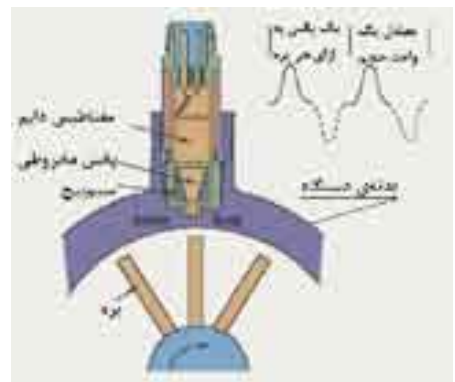
شکل ۵ - طراحی های مختلف شناور برای کاربردهای متفاوت



شکل ۶ - نمای شماتیک یک دستگاه اندازه گیری توربینی



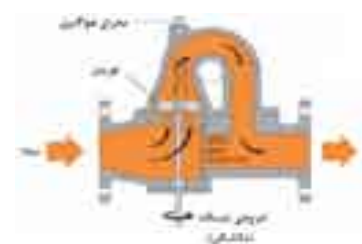
شکل ۷ - دو نمونه Pick-Up



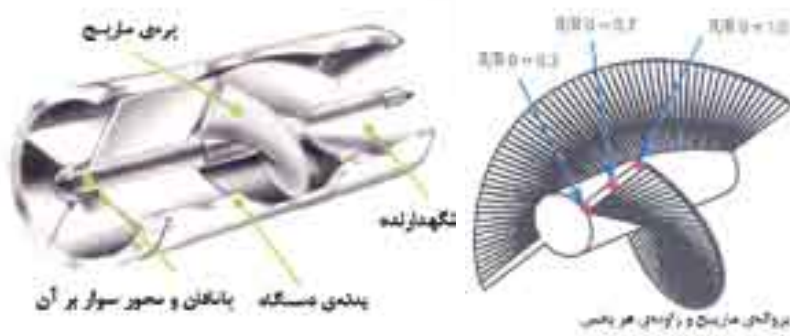
شکل ۸ - دو نمونه دستگاه توربینی برای کاربردهای خاص



Rotating Vane Turbine Meter



Bypass / Shunt Turbine Meter



شکل ۹ - توربین های مارپیچی

رابطه‌ی بالا نشان می‌دهد که شکل، اندازه، زاویه و نحوه‌ی چیدمان پره‌های توربین در صحت و دقت اندازه‌گیری نقش تعیین کننده‌ای دارد. با توجه به پروفایل جریان، سرعت سیال در مرکز لوله بیشتر از نزدیکی جداره‌های لوله است. از این رو این موضوع همواره مورد نظر طراحان بوده و باید به گونه‌ای عمل نمایند که ضمن طراحی توربینی ظریف و مقاوم، عملکرد یکنواخت آن در مقابله با اثر کاذب و احتمالی پروفایل جریان روی دقت و صحت اندازه‌گیری، تضمین شده باشد.
با ساده کردن رابطه‌ی بالا خواهیم داشت:

$$\frac{n}{Q} = A + \frac{B}{Q} - \frac{C}{Q^2}$$

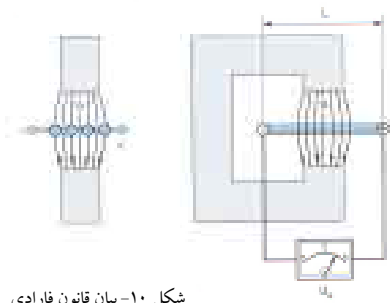
- در رابطه‌ی بالا عبارت اول (A) به گشتاور بستگی داشته در نتیجه بیان گر میزان جریان در حالت بیشینه است. عبارت دوم (نسبت B/Q) متأثر از میزان گران روی سیال بوده و عبارت سوم (C/Q²) نیز به حسگر و قسمت های مکانیکی دستگاه به ویژه قسمت های آیرودینامیک پروانه ها و شرایط پروانه ها بستگی دارد.

شکل ۸ دو نمونه طراحی دستگاه توربینی را نشان می‌دهد که دارای کاربردهای ویژه است. عمومی ترین کاربرد این گونه از دستگاه‌ها به عنوان مصارفی است که به دقت فوق‌العاده‌ای نیاز نباشد که می‌توان از تلمبه‌خانه‌های سوخت‌گیری خودرو یا کنتور آب نام برد. همان گونه که شکل یاد شده نشان می‌دهد چرخش محور به طور مکانیکی به بیرون منتقل شده و شمارنده‌ی آن نیز می‌تواند از نوع مکانیکی یا الکترونیکی باشد.

توربین های مارپیچی - همان گونه که پیش تر

گفته شد، ضعف دستگاه‌های اندازه‌گیری جریان به روش توربینی حساسیت آن نسبت به گران روی سیال است. یعنی هر چه سیال چسبنده تر باشد، دقت دستگاه نیز کم تر می‌شود، تا جایی که در یک میزانی از گران روی امکان اندازه‌گیری جریان به این روش میسر نخواهد بود. برای پرهیز از این نقص، توربین های مارپیچی طراحی و در اختیار کاربران قرار گرفته است (شکل ۹).

- مزایای اندازه‌گیری جریان به روش توربینی عبارتند از:
- درستی یا دقت بسیار بالا (1+، 0.5+، 0.1+ و به صورت خطی)
- تکرارپذیری بسیار خوب
- قیمت به نسبت ارزان در مقایسه با دقت اندازه‌گیری
- دارای تأییدیه از API^{۱۴} برای کاربرد اندازه‌گیری به قصد فروش



شکل ۱۰ - بیان قانون فارادی

۲-۶. اندازه‌گیری جریان به روش الکترومغناطیسی

مبنای اندازه‌گیری در این روش مبتنی بر قانون فارادی^{۱۵} است. مطابق با قانون فارادی، زمانی که یک هادی در میدان مغناطیسی ثابت حرکت کند، در آن هادی یک جریان الکتریکی القا می‌شود. میزان ولتاژ الکتریکی القا شده از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$U_i = v \cdot B \cdot L$$

که در آن:
 v سرعت (در این جا سرعت سیال)
 B میزان خودالقایی^{۱۶} سیم پیچ (القاء)
 L طول موثر هادی در میدان
 ملاحظه می‌شود، هر چه سرعت سیال بیشتر باشد، دامنه‌ی ولتاژ تولید شده نیز با همان نسبت و به طور خطی افزایش خواهد یافت (نسبت مستقیم)، از این رو با توجه به ثابت بودن عوامل دیگر در این رابطه (از جمله میدان مغناطیسی و طول هادی) دغدغه‌ای برای جبران سازی خروجی دستگاه و یا تبدیل آن به یک سیگنال معتبر وجود نخواهد داشت. البته در هر صورت از پردازشی که الزاماً باید روی سیگنال خام و اولیه‌ی تولید شده انجام پذیرد (از جمله حذف اثر تداخل هارمونی‌ها) نباید غافل شد.

- ایجاد افت فشار به نسبت کم در مسیر خط لوله
- قادر به اندازه‌گیری جریان سیال در حجم بسیار زیاد
- طول عمر و مقاومت بالای دستگاه
- قابلیت کار دستگاه در مقابل تغییرات دما و تغییرات فشار (بعد از اندازه‌گیری جبران سازی انجام خواهد شد)
- معایب اندازه‌گیری جریان به روش توربینی عبارتند از:
- رسوبات احتمالی سیال تأثیر منفی روی صحت سنجش انجام شده می‌گذارد چون رسوبات یاد شده روی پره‌های توربین نشسته و باعث کندی سرعت توربین و کاهش دقت دستگاه می‌شود.
- این دستگاه در اندازه‌گیری جریان محصولاتی که فاقد خاصیت روغن کاری می‌باشند، غیر قابل استفاده است (مانند محصولات پتروشیمی)
- نیاز به نصب صافی^{۱۵} و جداکننده‌ی حباب^{۱۶} در ورودی هر دستگاه اندازه‌گیری (با توجه به حساس بودن توربین نسبت به حباب هوا و ذرات معلق احتمالی در سیال)

- با توجه به داشتن قسمت های متحرک^{۱۷} و در تماس با سیال، دقت دستگاه بعد از مدتی کاهش می‌یابد.
- کاهش میزان دقت اندازه‌گیری با کاهش میزان جریان سیال
- عدم کاربرد دستگاه در اندازه‌گیری جریان سیالات دو فاز
- تغییر ضریب سنجش دستگاه در طول مدت کار کرد دستگاه
- تغییر ضریب سنجش دستگاه با تغییر میزان جریان، گران روی، چگالی، دما و به ویژه فشار سیال
- نیاز به صحت سنجی و تعیین ضریب سنجش جدید به صورت مداوم
- عدم کاربرد توربین های معمولی در اندازه‌گیری جریان مایعات با گران روی بالا یا گران روی متغیر

18-Michael Faraday (1971-1867)
19-Inductance

15-Strainer
16-Air Eliminator
17-Moving Part

14-American Petroleum Institute



شکل ۱۱ - اصول کار دستگاه اندازه‌گیری جریان به روش الکترومغناطیسی

و نیز برای مایعاتی که تمایل به تشکیل رسوب دارند، مناسب تر می‌باشد. از جمله مزایای دستگاه اندازه‌گیری جریان به روش الکترومغناطیسی نداشتن قطعات متحرک و در نتیجه عدم سایش مکانیکی در قطعات آن است. تنها قسمت‌های خیس شونده‌ی این دستگاه‌ها، الکترودها و پوشش داخلی آن است که نسبت به مواد خورنده مقاوم می‌باشد. به همین دلیل این دستگاه‌ها بیشتر از سایر روش‌ها برای اندازه‌گیری جریان سیال خورنده به کار می‌روند.

افت فشار این نوع دستگاه‌ها بسیار کم و قابل اغماض می‌باشد و به دلیل این که ولتاژ ایجاد شده هیچ تابعیتی از دما، فشار و چگالی سیال ندارد، اندازه‌گیری با این دستگاه مستقل از عوامل یاد شده بوده بنابراین دارای هزینه به نسبت بالایی هستند و لازم است برای سیالات مختلف مجدداً کالیبره شوند. ساختمان دستگاه اندازه‌گیری جریان سیال به روش الکترومغناطیسی شامل یک بدنه‌ی لوله‌ای شکل از جنس غیر آهنی (یا غیر فرومغناطیسی^(۱))، دو دسته سیم پیچ و میدان مغناطیسی ثابت تولید شده توسط دو سیم پیچ یا آهن ربا می‌شود. شکل ۱۱ به طور شماتیک نحوه‌ی القای ولتاژ در سیم پیچ‌های دستگاه را نمایش می‌دهد.

ایده‌ی ساخت این دستگاه، اولین بار در سال ۱۹۳۹ توسط یک کشیش سوئیس به نام «بوناونتورا تورلمن»^(۲) شکل گرفت. این کشیش از اصل معروف و اثبات شده‌ی فیزیکی، منسوب به فارادی کمک گرفت. فناوری ساخت دستگاه‌های اندازه‌گیری مبتنی بر اصول الکترومغناطیسی بر اساس نوع مغناطیس به کار برده شده در آن، به دو دسته تقسیم می‌شود:

۱. دستگاه‌های اندازه‌گیری مبتنی بر اصول الکترومغناطیسی با مغناطیس متناوب
 ۲. دستگاه‌های اندازه‌گیری مبتنی بر اصول الکترومغناطیسی با مغناطیس مستقیم
- مزیت دستگاه‌هایی که با جریان متناوب کار می‌کنند ارزان تر بودن آن است، اما روش تحریک متناوب نیاز به توان مصرفی بالایی دارد. این دستگاه‌ها در برخی موارد خاص مانند وجود حباب‌های هوا در سیال، جریان‌های دوغابی و وجود ذرات جامد معلق در مایع، گزینه مناسبی هستند. در تحریک به روش مستقیم علاوه بر دقیق تر بودن و توانایی اندازه‌گیری جریان‌های پایین، حجم کمتر، نصب آسان تر و مصرف انرژی کم‌تری دارند. روش تحریک مستقیم برای استفاده در مایعات دارای قابلیت پذیرش تغییرات دمایی بالا و ضریب انتقال حرارت زیاد، شرایطی محیطی با تغییرات دمایی بالا

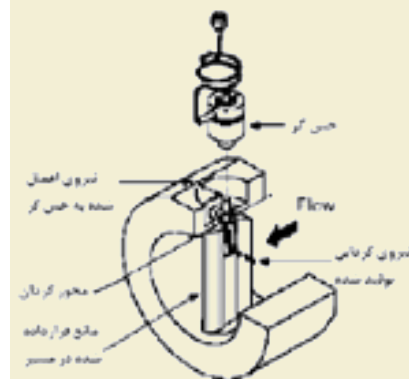
21-Ferromagnetic

20- Bonaventura Thurlmann (1909-1997)

شکل ۱۲ - نمونه ای از مانع سر راه سیال



شکل ۱۳ - نمایش رابطه ی ضریب سنجش دستگاه با ناحیه ی خطی عدد رینولدز



شکل ۱۴ - دستگاه اندازه گیری جریان سیالات به روش گردابی



مزایای اندازه گیری جریان به روش الکترومغناطیسی عبارتند از:

- عدم وابستگی این روش به فشار، دما و گرانروی سیال
- قابلیت اندازه گیری جریان سیال های دوغابی
- قابلیت پیاده سازی این روش در هر اندازه از لوله (در محدوده ی ۱/۱۲ اینچ الی ۱۲۰ اینچ)
- عدم وجود قطعات متحرک در مسیر جریان
- عدم ایجاد افت فشار در فرآیند (اندازه ی دستگاه اندازه گیری و مسیر خط لوله یک سان است)
- پایداری تمام ویژگی های اندازه گیری در طول مدت اندازه گیری
- هزینه ی کم برای نگهداری و تعمیرات
- معایب اندازه گیری جریان به روش الکترومغناطیسی عبارتند از:
- توانایی در اندازه گیری مایعات با قابلیت رسانایی الکتریکی
- کاهش چشم گیر دقت و صحت اندازه گیری با کاهش رسانایی سیال
- رسوبات داخل دستگاه یا جرم گرفتن بدنه ی آن سبب ایجاد خطا در اندازه گیری می شود.

با عدد رینولدز و شرایط فیزیکی دستگاه قابل تغییر است (می دانیم در طول مدت بهره برداری ممکن است شرایط فیزیکی و در نتیجه ضریب سنجش آن نیز تغییر کند). با توجه به شکل ۱۳ بدیهی است که این عدد باید در ناحیه خطی عدد رینولدز به کار گرفته شود تا اندازه گیری جریان صحیح باشد.

مزایای دستگاه اندازه گیری جریان به روش گردابی به قرار زیر هستند:

- نداشتن قسمت های متحرک و در نتیجه تعمیرات آسان
- ایجاد افت فشار بسیار ناچیز در مسیر خط لوله
- معایب دستگاه اندازه گیری جریان به روش گردابی عبارتند از:
- عدم دقت در اندازه گیری میزان جریان های کم (چون در این شرایط هیچ پالسی قابل تولید و اندازه گیری نیست)
- لرزش نیز به عنوان یک عامل ایجاد خطا در این روش اندازه گیری مطرح است.
- با توجه به تأثیر پذیری دقت دستگاه از شرایط محیطی، نصب دستگاه بسیار مشکل است.
- قبل از دستگاه نیاز به داشتن تمهیداتی برای آرام سازی جریان هست، چون اندازه گیری جریان بر اساس ایجاد تلاطم است.

۳-۶. اندازه گیری جریان به روش گردابی

چنانچه یک مانعی در مسیر جریان سیال قرار دهیم، سیال به تلاطم افتاده و بعد از مانع به صورت گردابی به حرکت خود ادامه می دهد. شدت و تعداد این گرداب ها متناسب با میزان سرعت و یا در حقیقت متناسب با میزان جریان سیال است. گرداب های تولید شده قابل مشاهده، شمارش و نمایش می باشند.

اصول اندازه گیری به روش گردابی به قرار زیر است:

فرکانس گرداب های ایجاد شده متناسب است با:

$$f \approx Sr \cdot v / d$$

Sr عدد Strouhal (عدد ثابت، تجربی و در دسترس)

سرعت سیال:

$$v = f / K یا F = K \cdot v$$

ضریب K-Factor به صورت عددی ثابت و متعلق به هر دستگاه، توسط سازنده ارائه می شود و متناسب

منابع و مراجع:

1. Industrial Flow Measurement, David W. Spitzer, ISA, 1990
2. Instrument Engineers Handbook – Process Measurement and Analysis, By Bela G. Leptak, 2003
3. Methods for Reductiuon of Transfer Uncertainty in Flow Measurement, Mr. Jim Hill, Mr. Andreas Weber & Mr. Tri Budi Praman, March 2005
4. Industrial Flow Measurement, Michael Anthony Crabtree, The University of Huddersfield, June 2009
5. Flow Handbook, Endress & Hauser Company, 2006