اویل ایندااستری
Oilindustry.ir
CLICK HERE

تجهیزات اندازه‌گیری جریان سیال

تحقیق و نگارش: علی صفار شمشیرگر
یونس فلاح

در صنایع امروزی، اندازه‌گیری دما، فشـــار و دبی جریان سیال از اهمیت بالایی برخوردار است. در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، به منظور کنترل کیفیت فرایند، در فرایند ســـوخت و احتراق به منظور بهینـــه نمودن احتراق و کاهش آلاینده‌ها و در خطوط لوله به منظور اندازه‌گیری مقدار ســـیال عبوری، چه از لحاظ فروش سیال فرآوری شـــده و رصد میزان تولید و تقاضای آن و چه به لحاظ نمایش میزان جریان در اتاق کنترل و تحت کنترل در آوردن متغیرهای مرتبط با آن اســـتفاده از تجهیزات اندازه‌گیری اجتناب ناپذیر اســـت. در این مبحث ابتدا تجهیزات اندازه‌گیری دبی جریان ســـیال (Flow rate) بررسی خواهند شد و در ادامه به تجهیزات اندازه‌گیری دما و فشار نیز پرداخته خواهد شـــد. در اینجا لازم اســـت به این نکته دقت شود که با توجه به وجود کتاب‌های مناســـب ترجمه یا تالیف شده به زبان فارســـی، هدف از نگارش این مقاله، دسته‌بندی منظم‌تر این تجهیزات برای استفاده به منظور اندازه‌گیری در حوزه گاز طبیعی می‌باشد.

بـــا توجه به اهمیت اندازه‌گیری دبی جریان و همچنین تنوع فرآیند صنایـــع گوناگون، در طول زمان روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری جریان ســـیال بوجود آمده است. از این‌رو انتخاب جریان‌سنج (Flowmeter) مناسب برای هر کاربرد نیاز به دانش کلی نسبت به روش‌های گوناگون اندازه‌گیری جریان و در نظر داشـــتن پارامترهای اصلی آن از قبیل دقت، قیمت تمام شده، هزینه‌های تعمیرات و کالیبراسیون و سازگاری عملکرد جریان‌سنج با شرایط فرایند دارد. جریان‌سنجی عبارت از اندازه‌گیری نرخ حجم یا مقدار ماده عبوری یک سیال از یک سطح مقطع مشخص می‌باشـــد. انواع مختلف فلومترها، جهت اندازه‌گیری جریان گازها و مایعات به کار می‌روند با این تفاوت که بعضی از انواع آنها جهت اندازه‌گیری برخی از سیال‌ها مناســـب‌تر بوده و برای اندازه‌گیری برخی دیگر از سیال‌ها اساساً قابل استفاده نباشند یا از دقت پایینی برخوردار باشـــند. جدول شماره یک جریان‌سنج‌های مناسب برای ســـیال‌های مختلف را نشان می‌دهد. جریان سیال با دو پارامتر دبی حجمی و دبی جرمی قابل اندازه‌گیری است. حجم انتقال سیال در واحد زمان، جریان حجمی نامیده می‌شود و واحد اندازه‌گیری آن در سیســـتم متریک، مترمکعب بر ثانیه (m^3/s) است. با اندازه‌گیری جریان حجمی و با دانستن چگالی سیال، می‌توان به جریان جرمی دســـت یافت. چگالی مایعات عمدتاً به شرایط آنها بستگی دارد و در گازها این کمیت به فشار، دما و به ترکیب گاز نیز بستگی دارد.

یکی از اندازه‌گیری‌های مهم که در گذشته کمتر به آن توجه شده بود، اندازه‌گیری میزان گازفلر شده بود اما امروزه با توجه به حساسیت نسبت به موضوع آلایندگی و اتلاف انرژی، اندازه‌گیری جریان گاز فلر اهمیت یافته است. به همین دلیل در این مقاله ضمن آنکه موضوع اندازه‌گیری جریان سیال به صورت کلی بررسی می‌شود، به صورت خاص به موضوع اندازه‌گیری جریان گاز فلر پرداخته خواهد شد.

۱ جریان‌سنج‌ها

چنانچه لوله‌ای با سطح مقطع A را در نظر بگیریم که سیالی با سرعت متوسط V از داخل آن عبور می‌کند، دبی حجمی سیال با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$Q(m^3/s) = A(m^2) \times V(m/s)$$

در صورتی که چگالی سیال (ρ) نیز مشخص باشد، دبی جرمی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$W(kg/s) = Q(m^3) \times \rho(kg/m^3)$$

حال با استفاده از این محاسبات و بکارگیری جریان‌سنج‌ها می‌توان به مقادیر دبی جرمی و حجمی سیال دست یافت. بر این اساس گونه‌های متعددی از جریان‌سنج‌ها در جهان ساخته شده‌اند که هر یک مزایا و معایب خود را دارند. بنابراین جهت اندازه‌گیری مقادیر سیال، انتخاب جریان‌سنج‌ها نیز بسیار حائز اهمیت خواهد بود. به طور خاص اندازه‌گیری و به دنبال آن نیاز به انتخاب جریان‌سنج‌ها مناسب، در اندازه‌گیری گازهای فلر نمود بیشتری دارد، چرا که در سیستم فلر فشار، دما، دبی جریان و ترکیب سیال به طور دائم در حال تغییر است. در ادامه به معرفی انواع مختلف جریان‌سنج‌ها خواهیم پرداخت و همچنین موارد استفاده و مزایا و معایب آنها را در اندازه‌گیری گاز فلر بررسی خواهیم کرد. فلومترها از سه بخش اصلی زیر تشکیل شده‌اند:

- ابزار اولیه (Primary device): بخشی که مستقیماً با سیال در ارتباط است.
- مبدل (Transducer): بخشی که جریان عبوری از ابزار اولیه را به سیگنال قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌کند.
- فرستنده (Transmitter): بخشی که سیگنال الکتریکی را متناسب با جریان و منطبق با استانداردهای مورد نیاز ارسال می‌کند.

شکل ۱: جریان‌سنج با فرستنده بی‌سیم

» جریان‌سنج حجمی

جریان‌سنج حجمی (Volume Flow meter) مستقیماً حجم سیال عبوری را اندازه‌گیری می‌کند. به عبارت دیگر اندازه‌گیری دبی حجمی در این سنسورها نیازی به اطلاع از قطر لوله ندارد. این جریان‌سنج‌ها حجم سیال عبوری را به طور مستقیم توسط مکانیزم مکانیکی اندازه‌گیری می‌کنند. سیال در طول عبور از مکانیزم مکانیکی، به حجم‌های کوچکی تقسیم می‌شود و با شمارش تعداد این حجم‌ها در واحد زمان می‌توان جریان حجمی را اندازه‌گیری نموده و با داشتن چگالی سیال به دبی جرمی نیز دست یافت. این مکانیزم به عنوان جابجایی مثبت (Positive Displacement) نیز شناخته می‌شود. فلومترهای Gear، Vane، Piston، Diaphragm انواعی از این نوع فلومتر می‌باشند.

» جریان‌سنج سرعتی

با اندازه‌گیری سرعت حرکت سیال، دبی حجمی آن از حاصل‌ضرب سرعت در سطح مقطع عبور جریان محاسبه می‌شود. در حقیقت سطح مقطع لوله به عنوان یکی از مفروضات این نوع فلومترها در نظر گرفته می‌شود. فلومترهای Vortex، Turbine Meter و UltraSonic انواعی از جریان‌سنج سرعتی (Velocimeters) می‌باشند که در ادامه به بررسی آنها خواهیم پرداخت.

» جریان‌سنج‌های جرمی

این روش در واقع روش اندازه‌گیری جریان بر حسب وزن می‌باشد. در روش‌های دیگر جهت اندازه‌گیری جریان، جرم مخصوص یا دانسیته سیال نیز لازم است در حالی که جریان‌سنج‌های جرمی مستقل از خواص فیزیکی سیال مانند ویسکوزیته و دانسیته میزان جرم عبوری را اندازه می‌گیرند. جریان‌سنج‌های جرمی مستقیماً جریان جرمی سیال را به یک سیگنال الکتریکی تبدیل و آن را اندازه‌گیری می‌کنند. جریان‌سنج‌های Coriolis و Thermal انواعی از این جریان‌سنج‌های جرمی (Mass Flow Meters) می‌باشند که در ادامه به بررسی آنها خواهیم پرداخت.

» جریان‌سنج‌های اختلاف فشار یا برنولی

اندازه‌گیری جریان از طریق ایجاد افت فشار در محدوده مشخصی از مسیر عبور سیال، از متداول‌ترین روش‌های اندازه‌گیری جریان در صنعت می‌باشد. در جریان‌سنج‌های سرعتی برای اندازه‌گیری جریان از طریق سرعت یا می‌بایست از جریان‌سنج‌های مکانیکی پراستهلاک مانند توربینی و ورتکس استفاده نمود یا هزینه‌های زیادی جهت به کارگیری جریان‌سنج‌های اولتراسونیک و نوری پرداخت نمود، این موضوع سبب تبدیل جریان‌سنج‌های اختلاف فشاری به متداول‌ترین روش اندازه‌گیری جریان در صنعت شده است. سیال تحت فشار و در حال حرکت، دارای سه کمیت انرژی پتانسیلی (h)، انرژی جنبشی (V) و انرژی فشاری (p) است. مطابق قانون برنولی در صورتی که انرژی پتانسیلی سیال ثابت باشد، آنگاه افزایش سرعت با کاهش فشار نسبت مستقیم می‌یابد. به بیان دیگر، اگر سرعت سیال (انرژی جنبشی) افزایش یابد، فشار (انرژی فشاری) کم می‌شود. جریان‌سنج‌های Venturi Tube و Orifice Plate انواعی از جریان‌سنج‌های اختلاف فشار یا برنولی (Differential Pressure Flow Meters) می‌باشند که آنها را بررسی خواهیم کرد.

۲ فلومتر مناسب در اندازه‌گیری گاز فلر

جهت مشخص شدن جریان‌سنج مناسب، می‌بایست مشخصات گازهای فلر و نیازهای فرایندی سیستم فلر مورد بررسی قرار گیرند. به عنوان نمونه موارد نیاز سیستم فلر به اندازه‌گیری جریان را ذکر می‌کنیم:

- موازنه (Equilibrium) جرمی جریان فلر
- جهت آشکارسازی نشتی در شیرهای واقع در حد فاصل واحدهای فرایندی و خطوط فلر
- کنترل گاز پرج (Purge) در فلرهای کم فشار، جهت ایجاد دبی مثبت و جلوگیری از پرج اضافی

نوع گاز	Turbine	Magnetic *	Coriolis Mass	Thermal Mass	Vortex	Ultrasonic	Variable Aria	Venturi Tube	Pitot Tube	Orifice
بخار Steam	yes	no	yes	no	yes	yes	yes	yes	yes	yes
تصفیه شده Clean	yes	no	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
مرطوب Wet	yes	no	yes	no	yes	yes	yes	yes	no	yes
آلوده Contaminated	no	no	yes	yes	yes	yes	no	yes	no	yes
خورنده Corrosive	yes	no	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes

* نیازمند سیال با هدایت الکتریکی

جدول۱: قابلیت استفاده انواع جریان‌سنج جهت اندازه‌گیری جریان گازها

جدول فوق بر اساس اطلاعات ارائه شده توسط شرکت Omega و Krohne تنظیم شده است.

» ویژگی عمومی سیستم فلر

این ویژگی‌ها شامل موارد زیر می‌شوند:

» سرعت (Velocity): بنا به اطلاعات شرکت شل در ۹۸٪ موارد ۰/۰۳ms تا ۶m/s و در سایر موارد تا ۳۰m/s است. علیرغم سرعت‌های اشاره شده سرعت گاز فلر در طراحی ممکن است تا بیش ۱۰۰m/s از نیز در نظر گرفته شود.

» فشار (Pressure): فشار در خطوط مختلف فلر متفاوت می‌باشد. فشار از حدود ۰/۰۶barg در خطوط LLP تا حدود ۱۵barg در خطوط HP متغیر است.

» ابعاد لوله (Pipe Dimensions): قطر خطوط فلر از ۳ اینچ تا ۶۰ اینچ متغیر است.

» آنالیز گاز: ترکیب سیال موجود در خطوط فلر، تابع نوع واحد فرایندی بوده و عمدتاً حاوی ترکیبات گازی متنوع، میعانات گازی است.

» ایمنی: محیط فلر به لحاظ ایمنی بسیار پر خطر است، بخصوص در زمان فعالیت‌های تعمیر و نگهداری یا نصب تجهیزات اندازه گیری

مقدار جریان در شبکه فلر ممکن است ناپایدار (Unsteady) و یا حتی دو جهته (Bidirectional) باشد. فشار نوسانی (Pulsating)، دما و ترکیبات گوناگون و محدوده وسیع مقدار جریان، اندازه‌گیری را پیچیده می‌سازد.

» نیازهای فرایندی سیستم فلر در اندازه‌گیری جریان

» قابلیت اندازه گیری در محدوده وسیع سرعتی، بدون تغییر در ترکیب جریان‌سنج

» Turndown Ratio در حدود ۲۰۰۰ به ۱

» نیاز به حداقل دقت ۲ تا ۵ درصد در طول Turndown Ratio

» عدم تأثیر گذاری بر جریان سیال (با توجه به مسئله ایمنی پالایشگاه)

» تاییدیه قابل استفاده بودن در منطقه خطر[قابل انفجار]

» نصب و عملکرد آسان

» هزینه تعمیر و نگهداری پایین

	نوع فلومتر	روش اندازه‌گیری	قطر لوله مناسب (اینچ)	Turndown Ratio	مقدار افت فشار	درصد خطا	وابستگی به ترکیب گاز
۱	لوله ونتوری	اختلاف فشاری	۴۸ – ۲	۱۰:۱	۱۰ – ۲۰٪ ΔP (وابسته به زاویه β و زاویه مخروط خروجی)	۱٪ – ۲٪ Full Scale	دارد
۲	صفحه اریفیس	اختلاف فشاری	۷۲ – ۰/۵	۵:۱	۳۰ – ۹۰٪ ΔP	۲٪ – ۴٪ Full Scale	دارد
۳	توربینی	سرعتی	۲۴ – ۰/۲۵	۲۰:۱	۵ – ۶ psig	۰/۱٪ Flow Rate	ندارد
۴	ورتکس	سرعتی	۱۲ – ۱	۳۰:۱	۵ – ۶ psig	۲٪ Flow Rate	ندارد
۵	التراسونیک (گذر زمانی)	سرعتی	~ > ۰/۱۲۵	۲۰۰۰:۱	ندارد	۲٪ – ۵٪ Value	ندارد
۶	گرمایی	جرمی	۶۰ – ۲/۵	۱۰۰:۱	بسیار کم	۱٪ – ۳٪ Flow Rate	دارد
۷	لوله پیتوت	اختلاف فشاری	۷۲ – ۲	۳:۱	کم	۰/۵٪ – ۵٪ Full Scale	دارد
۸	کریولیس	جرمی	بیشتر از ۶	۱۰:۱	بسیار کم	۰/۴٪ Flow Rate	ندارد

جدول۲: مشخصات انواع جریان‌سنج‌های مناسب برای اندازه‌گیری جریان گازها

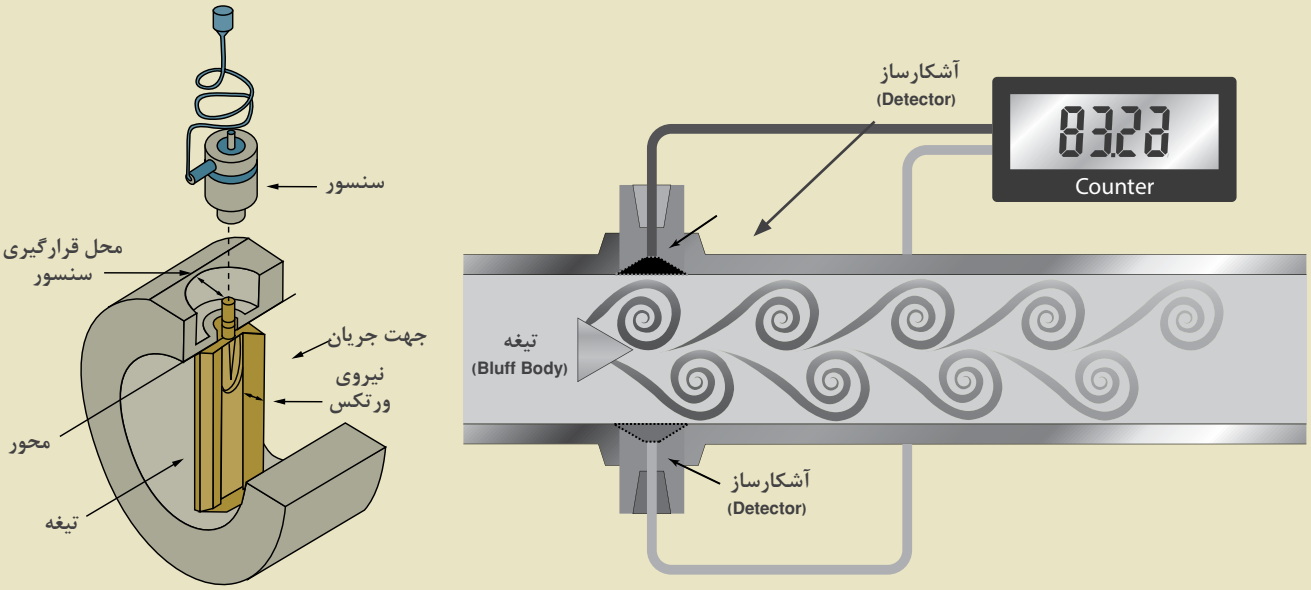
جدول فوق بر اساس اطلاعات ارائه شده توسط شرکت‌های Omega و Krohne تنظیم شده است.

» جریان‌سنج ورتکس (گردابی)

اساس کار این نوع جریان‌سنج مبتنی بر پدیده گردابی یا Vortex Shedding موسوم به اثر وان کارمن (Von Kármán) اســت. درون آن یــک تیغه (Bluff Body) اســت که به هنگام عبور سیال از جریان‌سنج، توسط این مانع سیال شکافته شده و گردابه‌های (Eddies) کوچکی تولید می‌شــود که در امتداد و پشــت مانع جمع می‌شــوند. این گردابه‌ها باعث نوســان فشار شــده و در نتیجه، افت فشــار توســط سنســور انــدازه گرفته می‌شود. فرکانس تولید گردابه بطور مستقیم متناسب با سرعت ســیال اســت و می‌توان آن را از طریق فرمول f=SV/L بدست آورد. در ایــن رابطــه f فرکانس گردابه‌هــا، L عرض مانع، V ســرعت سیال و S عدد استروهال (Strouhal number) است. ایــن فلومتر هیچ گونه قطعه متحرکی ندارد اما برای ســیالات ویســکوز و دوغاب‌ها و همچنین ســیالاتی که ســرعت آنها خیلــی کم اســت، به دلیل عــدم تشــکیل گردابه، پیشــنهاد نمی‌شود. از این جریان‌سنج می‌توان برای اندازه‌گیری جریان مایعات با ویســکوزیته پایین اســتفاده کرد، امــا اندازه‌گیری جریان گازها، بخار و آب مقطر از جمله کاربردهای مرســوم این فلومترها اســت. همچنین بعضی از مدل‌های آن فشار، دما و دبــی جرمــی را با هــم اندازه‌گیــری می‌کننــد. دقت این جریان‌ســنج نسبت به جریان‌ســنج‌های اختلاف فشاری مانند صفحه اریفیس بیشــتر اســت و بــا افزایش عــدد رینولدز نیز افزایش می‌یابد و نصب آن نیز نســبتاً ساده است. اما از طرفی Turndown Ratio کوچــک (۳۰:۱) بــا خطــای ۲ درصد، محدودیت اســتفاده تا ۱۲ اینچ و مناسب نبودن برای استفاده در خطوطی که احتمال مســدود شــدن آنها در اثر تشــکیل هیــدرات وجود دارد. مواردی اســت که بــرای انتخاب این جریان‌سنج باید به آنها توجه نمود.

شکل ۲: فلومتر ورتکس

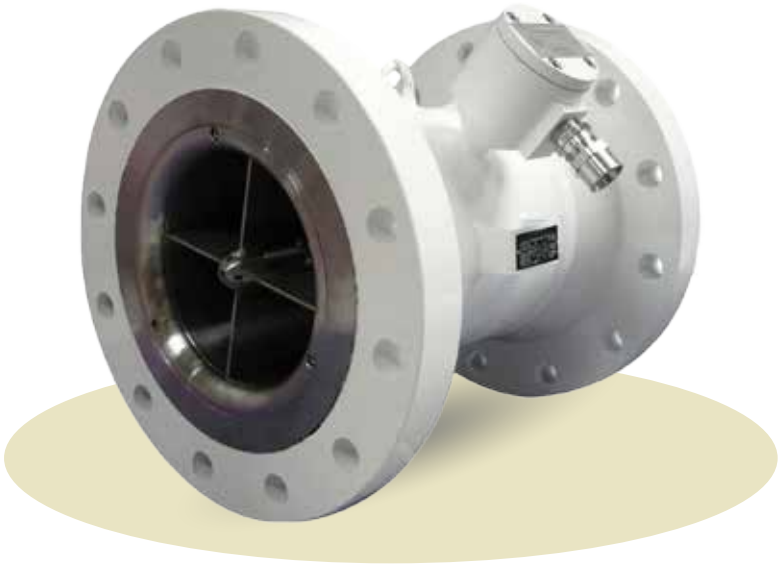
شکل ۳: فلومتر ورتکس شرکت Emerson



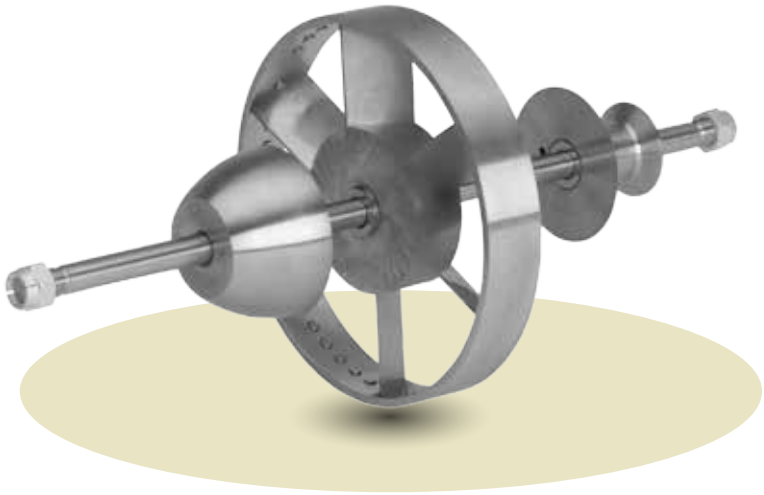
شکل ۴: مکانیزم ایجاد گردابه در سیال توسط فلومتر ورتکس

» جریان‌سنج توربینی

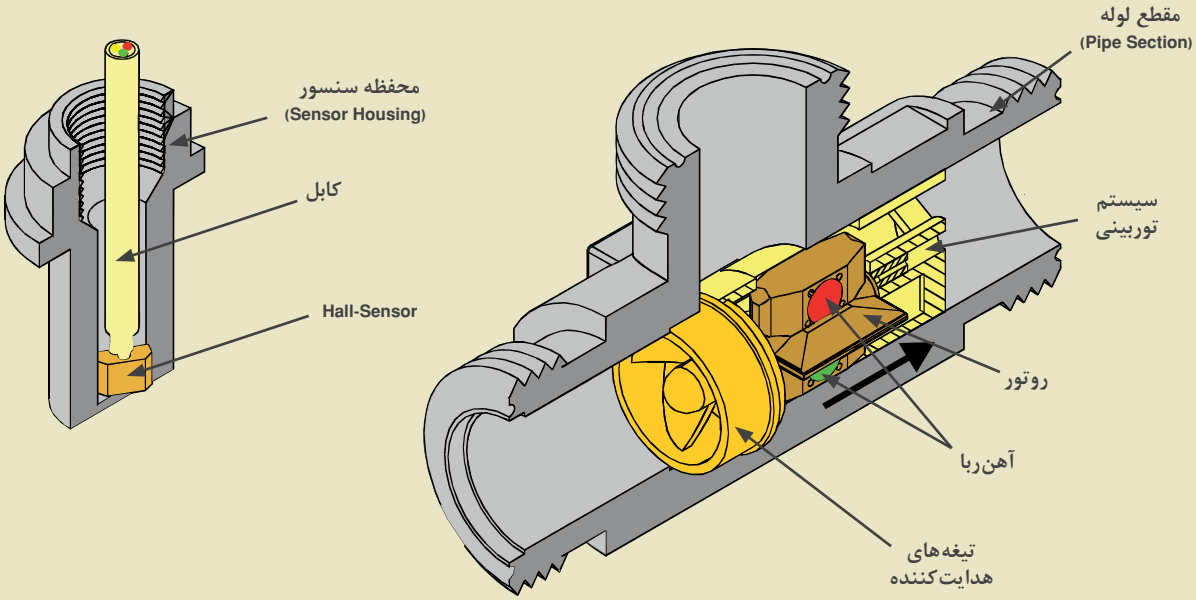
این جریان‌سنج از یک پروانه با تعداد مشخصی تیغه یا پره تشکیل شده است که با زاویه مشخصی روی محور توربین بالانس شده‌اند. جریان گاز با برخورد به تیغه‌ها باعث تولید حرکت زاویه‌ای در آنها شده و باعث دوران آنها با سرعتی متناسب با سرعت سیال می‌شود. جریان‌سنج‌های توربینی به‌طور گسترده‌ای جهت اندازه‌گیری دبی مایعات(بخصوص نفت خام) در تأسیسات فراساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع از جریان‌سنج‌ها در گذشته نیز به صورت گسترده‌ای جهت اندازه‌گیری در خطوط گاز تأسیسات ساحلی به‌کار برده می‌شدند. در خطوط فلر نیز این جریان‌سنج‌ها به دلیل سهولت در نصب [از نوع اندازه‌گیر نقطه‌ای] استفاده می‌شود. جریان‌سنج‌ها توربینی در سرعت‌های حداکثر ۳۰ m/s و در شرایطی که ترکیب گاز مشخص و آشفتگی آن کم باشد، می‌تواند جهت اندازه‌گیری گازها مورد استفاده قرار گیرد. مهم‌ترین ایراد این جریان‌سنج این است که جهت حفظ دقت، نیازمند نگهداری سیستماتیک مکانیکی و روغن‌کاری است، همچنین خوردگی، فرسایش و رسوب‌گذاری سطوح داخل جریان‌سنج‌ها به تدریج بر کالیبراسیون تاثیر منفی گذاشته و کالیبراسیون مجدد ادواری را جهت حفظ دقت بالا ضروری می‌سازد. مایعات خورنده، مایعات دارای توان روان کنندگی پایین(خشک) و مایعات دارای نسبت بالای ذرات جامد معلق مشکلاتی برای بلبرینگ‌ها به وجود می‌آورند. همچنین درجریان‌های با مقدار کم میزان کاهش دقت در آنها زیاد است. جریان‌سنج‌های توربینی به دلیل ایجاد افت فشار(تداخل در جریان سیال)، Turndown Ratio کوچک و خطای بالا در شرایط ناپایدار ترمودینامیکی، انتخاب مناسبی جهت سیستم فلر نمی‌باشد.



شکل۵: جریان‌سنج توربینی



شکل۶: روتور جریان‌سنج توربینی



شکل۷: ساختار داخلی جریان‌سنج توربینی

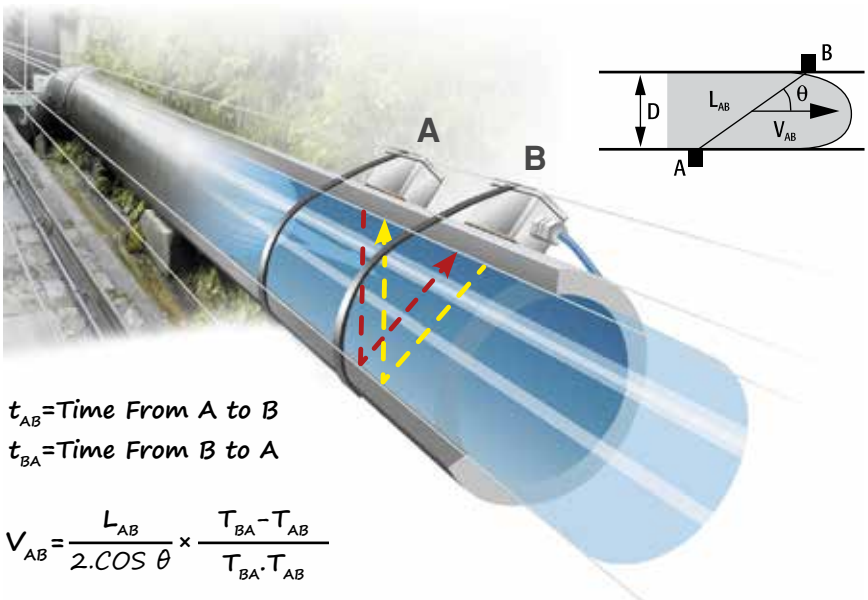
شکل ۸: فلومتر اولتراسونیک از نوع Clamp-On

» جریان‌سنج اولتراسونیک

در این نوع جریان‌سنج‌ها، از امواج اولتراسونیک برای اندازه‌گیری دبی استفاده می‌شود. مهم‌ترین مزیت این روش عـدم نیاز به قطع لوله (نوع Clamp-on) برای نصب جریان‌سـنج اسـت. بدین‌ترتیـب که پالس‌های مبدل پیزوالکتریک از سیال متحرک باسرعت صوت عبور کرده و به این ترتیب مقدار دبی سیال از روی لوله اندازه‌گیری می‌شـود. در جریان‌سنج‌های اولتراسونیک اندازه‌گیری به دو روش داپلر (Doppler) و گذر زمانی (Transit Time) انجام می‌شـود. روش داپلر جهت اندازه‌گیری گازها غیر قابل اسـتفاده اسـت که دلیل آن، وابستگی این روش به درصد بالای مقدار ذرات همراه سیال می‌باشد. به‌عنوان مثال، در یک لوله ۱۲ اینچی حداقل ۲۵ درصد حجم سیال می‌باید ذراتی با بزرگی ۵۰ میکرون باشد تا بتوان از روش داپلر استفاده کرد.

» روش گذر زمانی

در ایـن روش دو سنسـور در دو نقطـه بیرون لوله نصب می‌شـوند. این دو سنسـور در یک زمان سـیگنال اولتراسونیک را ارسال (Transmit) و در زمانی دیگر دریافت (Recieve) می‌کنند. بنابراین یک موج اولتراسونیک در یک لحظه از یکی از سنسـورها به سـمت سنسور دیگر ارسال می‌گردد، که این موج اولتراسونیک پس از طی فاصله بین دو سنسور، در لحظه‌ای مشخص توسط سنسور دوم دریافت می‌گردد.



شکل ۹: محاسبه جریان در جریان‌سنج التراسونیک با استفاده از روش گذر زمانی

حال سنسـور دریافت کننده یک موج اولتراسـونیک دیگر را به سـمت سنسـور دوم (که قبلا ارسال کننده بود) می‌فرستد که این موج پس ازطی مسافت مساوی بـا مرتبه قبل، ولـی این بار در مدت زمـان متفاوتی به سنسور روبرویی خود میرسد.

علت این تفاوت زمانی چیسـت؟ با توجه به فاصله بین دو سنسـور در صفحه افقی یکبار موج ارسالی موافق با جهت جریان می‌رود ولی در برگشت در خلاف جهت جریان بر می‌گردد. در واقع تصور کنید شناگری یکبار در جهت جریان یک فاصله ثابت را شـنا می‌کند و بار دیگر در خلاف جهت جریان آب همان فاصله را شـنا می‌کند، بدیهی اسـت که در دو زمان متفاوت بسـته به سرعت جریان آب این مسیر را طی می‌کند.

همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، در معادله V_{AB} نوع ترکیـب گاز و کمیت‌هـای ترمودینامیکی وجود ندارد، بنابراین محاسـبه سرعت مستقل از این کمیت‌ها اسـت و تنها تابع زمان‌های اندازه‌گیری شـده اسـت. سـرعت صوت نیز با اندازه‌گیری اختـلاف زمان عبور امواج اولتراسونیک بین سنسورها قابل محاسبه است.

آرایش سنسورهای اولتراسونیک در روش گذر زمانی به سه شکل مطابق شکل ۱۰ انجام می‌شود:

» آرایش V شـکل، که در آن سیگنال ارسالی ۲ مرتبه قطر لوله را طی می‌کند.

» آرایش W شـکل، که در آن سـیگنال ارسالی ۴ بار قطر لوله را طی می‌کند.

» آرایش Z شکل، که در آن سیگنال ارسالی ۱ بار قطر لوله را طی می‌کند.

جریان‌سنج اولتراسونیک در انواع قابل حمل (Handheld) و غیر قابل حمل (Wall-Mount) وجود دارد.

جریان‌سـنج‌های قابل حمل جهت بـرآورد جریان در سیستم‌هایی که قابل حمل بودن اهمیت دارد همچون سیسـتم تهویه و کنترل هـوا (HVAC) کاربرد دارند. مزیت دیگر جریان‌سنج‌های قابل حمل اولتراسونیک، ارزان بودن آنها به نسـبت مدل غیر قابل حمل است. از سـوی دیگـر، جریان‌سـنج‌های اولتراسـونیک غیرقابل‌حمل، جهـت کنترل فراینـد و اندازه‌گیری متناوب انتخاب بهتری هسـتند، زیـرا به طور معمول شـاخص خطای محل قرارگیری سنسـورها در مدل قابل حمل وجود دارد. جریان‌سنج‌های اولتراسونیک را بر اساس نوع مبدل می‌توان به دو نوع تقسیم کرد.

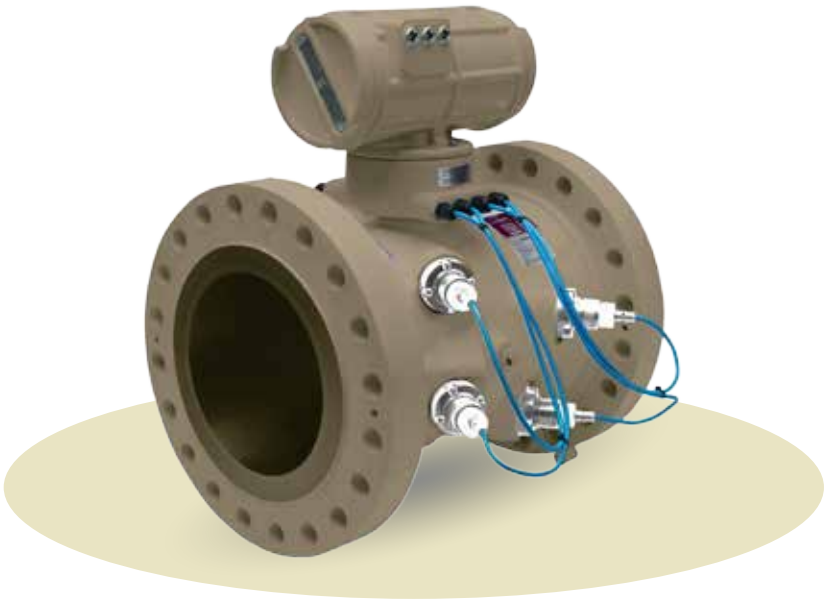
» نوع گیره‌ای

جریان‌سنج گیره‌ای (Clamp-on) بدون ورود قطعه به درون لوله و با نصب سنسورها بر روی سطح خارجی لولـه قابـل بهره‌بـرداری اسـت و بـه عنوان روشـی غیر تماسی شناخته می‌شود. سهولت در نصب تجهیز و فعالیت‌های تعمیر و نگهداری، عدم نیاز به برش لوله و

یا ایجاد حفره بر روی آن، عدم ارتباط مستقیم با سیال، عدم آلودگی سیال و عدم تاثیر در افت فشار خط را می‌توان از جمله مزیت های روش کلمپی برشمرد. در نتیجه این نوع جریان‌سنج اولتراسونیک جهت تجهیز کردن یک واحد در حال کار، به تاسیسات کاهش یا بازیابی گاز فلر مناسب بوده و ضمن برآورده کردن شرایط لازم برای اندازه‌گیری گاز فلر، نیازمند هزینه‌های تعمیر و نگهداری ناچیزی است.

» نوع مرطوب

نوع مرطوب (Wetted)، این نوع که از روشی تماسی بهره می‌برد، خود به دو نوع تقسیم می شود. روش اول قراردهی (Insertion) است. در این روش حفره‌ای بر روی سطح لوله ایجاد می‌شود تا بتوان سنسور را در مسیر سیال قرار داد. روش دوم محفظه جریان (Flow Cell) است که به شکل یک قطعه اسپول (Spool Piece) به خط اضافه می‌شود. این نوع جریان‌سنجی به عنوان قطعه رابط در مسیر خط لوله به کمک فیتینگ و دیگر تجهیزات لازم قرار می گیرد. سنسورها از پیش بر روی قطعه اسپول نصب شده‌اند، ازاینرو احتمال خطا در نصب سنسورها و محل قرارگیری آنها به نسبت روش کلمپی بسیار کم می‌شود. در کل روش مرطوب را می‌توان روشی با دقت بالاتر و پایداری بلند مدت به نسبت روش کلمپی دانست. از طرفی دیگر روش مرطوب، گران‌تر نیز می‌باشد، اما در مقایسه با جریان‌سنج های



شکل ۱۰: جریان‌سنج التراسونیک

متداول، در شکل سیال خللی ایجاد نمی کند و نیازمند تعمیر و نگهداری کمتری نیز هست. با توجه به ویژگی های یاد شده، می توان جریان‌سنج اولتراسونیک را گزینه مناسبی برای اندازه گیری گاز فلر، مستقل از خصوصیات گاز حتی در مقدار کم جریان دانست. در روش گذرزمانی، Turndown Ratio ۲۰۰۰ به ۱ با خطای ۲ درصد و پایداری کالیبراسیون زیاد از مزایای این نوع جریان‌سنج می‌باشد. اما به‌شکل خاص در اندازه گیری گاز فلر، قرارگیری بدون تداخل (Non Intrusive) و عدم نیاز به تنظیم مجدد دستگاه با تغییر ترکیب سیال از مزایای استفاده از این نوع جریان‌سنج می‌باشند.

شکل ۱۲: جریان‌سنج التراسونیک از نوع Insertion

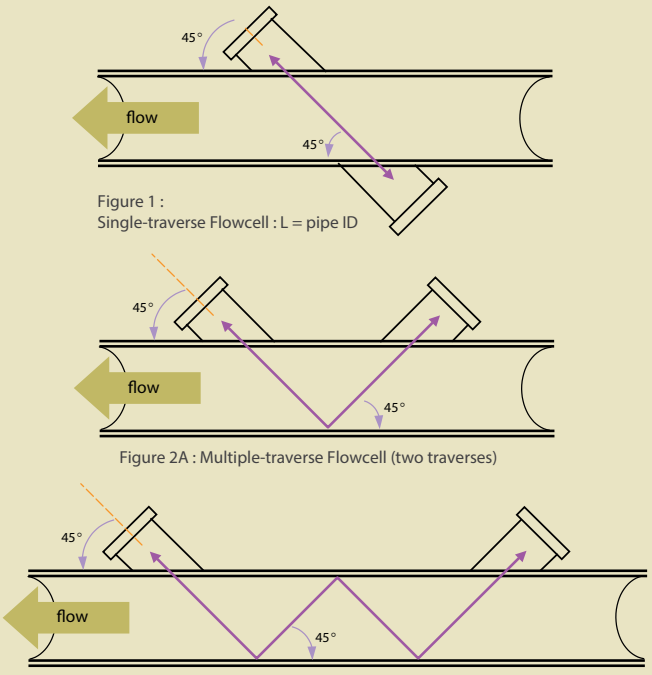
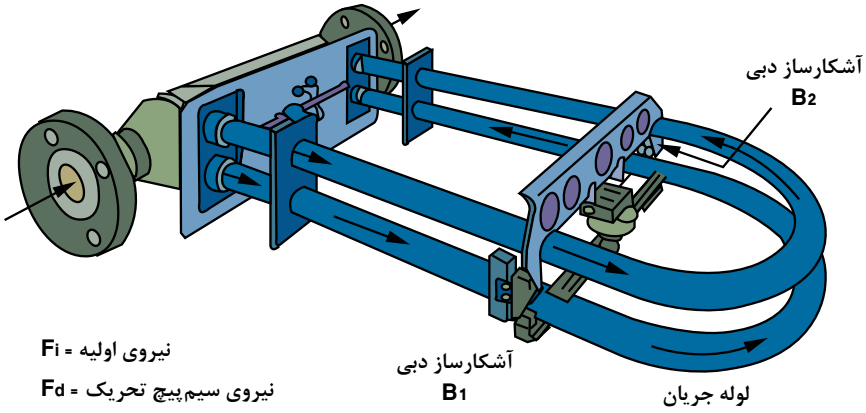


Figure 1 :
Single-traverse Flowcell : L = pipe ID

Figure 2A : Multiple-traverse Flowcell (two traverses)

Figure 2B : Multiple-traverse Flowcell (four traverses)

شکل ۱۱: انواع آرایش سنسورها در جریان‌سنج‌های التراسونیک در روش گذر زمانی



شکل ۱۳: جریان‌سنج کوریولیس دو مسیره

» جریان‌سنج کوریولیس

اولیـن بار مهندس و ریاضیدان فرانسـوی G. G. Coriolis در قرن ۱۹ میلادی به این نتیجه رسـید که به دلیل چرخش زمین، تمامی اجسـامی که بر روی سطح آن حرکت می کنند تمایل به انحراف از مسیر دارند. در نیمکره شـمالی این انحراف به سـمت راست و در نیمکره جنوبی به سمت چپ است. این حرکت نقش اساسی در جزر و مد و آب و هوای کره زمین دارد. برای مثال فرض کنید شـخصی در قطب شـمال ایستاده و سنگی به سمت استوا پرتاب می کند. اگر چرخش زمین نباشـد این سـنگ در نقطه روبرو در خط استوا فرود می آید. اما به دلیل وجود چرخش زمین، این سنگ از نقطه روبرو انحراف پیدا می کند، که این نیرو را نیروی کوریولیس می نامند.

بر پایه این قانون، فلومترهای کوریولیس ساخته شدند. این جریان در نمونه‌های مختلفی مانند U شکل، مستقیم و دو مسیره طراحی شده‌اند. در شکل ۱۴ یک نمونه از جریان‌سنج‌های دو مسیره را مشاهده می کنید. در ورودی این جریان‌سنج، جریان ورودی بوسیله یک جداکننده به دو لوله موازی هدایت می‌شود، این دو جریان مجدداً در خروجی با یکدیگر ترکیب می‌شوند. سیم‌پیچ تحریک در یک لوله و یک آهنربای دائمی در لوله دیگر سبب نوسان لوله با فرکانس از پیش تعیین شده می‌شوند. دو آشکارساز B۱ و B۲ در شرایطی که جریان وجود نداشته باشد، در هنگام نوسان جابجایی یکسانی را در میان لوله‌ها تشخیص می‌دهند. اما با عبور سیال از دو لوله، نیرویی در جهت عمود بر لوله‌ها وارد می‌شود این نیرو همان نیروی کوریولیس است. نیرو هنگامی تولید می‌شود که سیال درون لوله در حال جابجایی بوده و به طور همزمان لوله در حال نوسان می باشد. این نیرو در ورودی و خروجی فلومتر به صورت متضاد عمل می کند که باعث تغییر شکل جزئی در دو لوله می‌شود. این‌بار دو آشکارساز B۱ و B۲ اعداد متفاوتی بدست می آورند. بنابراین اختلاف فاز میان نوسان دو لوله ناشی از نیروی کوریولیس بدست می‌آید. این اختلاف فاز با دبی جرمی سیال درون لوله متناسب است. همچنین فرکانس رزونانس لوله‌ها مطابق با چگالی سیال تغییر خواهد کرد که از این کمیت جهت اندازه گیری چگالی سیال استفاده می‌شود. دامنه انحراف دو لوله نیز بستگی به دمای سیال دارد که در برخی دستگاه‌ها با این روش می توان دمای سیال را نیز تخمین زد. این جریان‌سنج جهت اندازه گیری جریان جرمی مایعات و گازها، صرف نظر از ضریب هدایت، چگالی، دما، فشار و چسبندگی آن‌ها به کار می‌رود.

شکل ۱۴: کالیبره کردن جریان‌سنج کریولیس

این جریان‌سنج به دما، فشار و ویسکوزیته سیال وابسته نیست و با بسیاری از سیالات در گستره بزرگی از جریان‌ها کار می‌کند. در اندازه‌گیری جریان جرمی مایعات، دوغاب‌ها، گازها و یا بخارات نیز کاربرد دارد. اما به دلیل داشتن دیواره نازک باید از اندازه‌گیری سیالاتی که سبب خوردگی و فرسایش می‌شوند اجتناب کرد. لرزش دستگاه و ضربان سیال بر دقت اندازه‌گیری در این فلومتر اثر منفی دارد. از مشخصه‌های دیگر این نوع فلومتر اندازه‌گیری دقیق جریان است که می‌تواند جهت کنترل دقیق، مدیریت سیال با ارزش، نقل و انتقال سیالات تحت حفاظت و... مورد استفاده قرار گیرد. نسبت خطای این فلومترها وقتی Turndown Ratio برابر با ۵۰ به ۱باشد، حدود ۰/۳ تا ۰/۷۵ درصد است.

ادامه دارد

منابع

1: Instrument Engineers' Handbook - Process Measurement and Analysis, Bela G. Liptak, Third edition, ISA 2002
2: Guideline on Flare and Vent Measurement/ prepared for GGFR and World Bank, Clearstone Engineering Ltd.
3: www.omega.com
4: www.emersonprocess.com
5: www.micromotion.com
6: www.abb.com