INSO
20055
1st. Edition
2016

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۲۰۰۵۵
چاپ اول
۱۳۹۴

اندازه‌گیری دبی سیال در کانال‌های بسته –دبی‌سنج‌های کوریولیس (سنجش دبیِ جرمی، چگالی و دبیِ حجمی) – راهنمای انتخاب، نصب، و کاربرد

Measurement of fluid flow in closed conduits — Guidance to the selection, installation and use of Coriolis flowmeters (mass flow, density and volume flow measurements)

Ics:17.120.10

به‌نام‌خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفهٔ تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ برای اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه* صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولید کنندگان، مصرف کنندگان، صادر کنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذیصلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیتهٔ ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان استاندارد تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد[1] (ISO) کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک[2] (IEC) و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی[3] (OIML) است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی[5] (CAC) در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و /یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (کالیبراسیون) وسایل سنجش، مؤسسهٔ استاندارد این گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تائید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون (کالیبراسیون) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1-International organization for Standardization
2-International Electro technical Commission
3-International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrologie Legale)
4-Contact point
5-Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«اندازه‌گیری دبی سیال در کانال‌های بسته –دبی‌سنج‌های کوریولیس (سنجش دبیِ جرمی، چگالی و دبیِ حجمی)- راهنمای انتخاب، نصب، وکاربرد»

رئیس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
قیصری اردهایی، تقی (فوق لیسانس مکانیک)	شرکت خدمات مهندسی سرمد تبریز
دبیر:	
کاظمی، علیرضا (لیسانس فیزیک)	اداره کل استاندارد آذربایجانشرقی
اعضا (به ترتیب حروف الفبا)	
آقاپور، مجید (لیسانس فیزیک)	آزمایشگاه کالیبراسیون رساگستر آذر
اکبرزاده، داوود (فوق لیسانس فیزیک)	آزمایشگاه همکار تلاش برای صنعت والا
امانیان، فخرالدین (لیسانس مدیریت دولتی)	اداره کل استاندارد آذربایجانشرقی
آیت الهی، امیر (فوق لیسانس مکانیک)	آزمایشگاه کالیبراسیون افرا
اخیاری، شهاب (فوق لیسانس شیمی)	اداره کل استاندارد آذربایجانشرقی
بابک‌نژاد، امیرارسلان (فوق لیسانس برق قدرت)	مجتمع پتروشیمی تبریز
بهروزی‌وند، محمد حسن (لیسانس مکانیک)	شرکت پمپیران
جم نژاد، حسن (فوق لیسانس فیزیک)	دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
رادخرمی، یاسر (فوق لیسانس فیزیک)	پژوهشگاه دانشهای بنیادی

حسینی‌نسب، علیرضا (فوق لیسانس مکانیک)	اداره انرژی شرکت خطوط لوله و مخابرات وزارت نفت
سیدریحانی، سید مهدی (فوق لیسانس مکانیک)	شرکت ملی نفت استان آذربایجانشرقی
صبور، عباس (لیسانس مکانیک)	مرکز ملی اندازه شناسی اوزان و مقیاسها
صفری، محمد (فوق لیسانس سخت‌افزار)	مجتمع پارس جنوبی
محمدی لیواری، احد (فوق لیسانس فیزیک)	مرکز ملی اندازه شناسی اوزان و مقیاسها
موحدی، محمد حسن (لیسانس برق و الکترونیک)	آزمایشگاه همکار کالیبراسیون شاخص
فرج‌پور، محمد حسین (لیسانس مکانیک)	شرکت پیستون سازی ایران
فریدونی، لطف اله (لیسانس مکانیک)	مجتمع فولاد صنعت سهند بناب
علیزاد شهیر، بابک (فوق لیسانس مکانیک)	مجتمع فولاد صنعت بناب
نجف نژاد، فتاح (لیسانس مکانیک)	مجتمع فولاد صنعت بناب

مندرجات

عنوان **صفحه**

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد ج
پیش‌گفتار و
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۱
۴ معیارهای انتخاب دبی‌سنج کوریولیس ۱۵
۵ بازرسی و انطباق ۲۴
۶ اندازه‌گیری دبی جرمی ۲۴
۷ اندازه‌گیری چگالی ۳۳
۸ اندازه‌گیری دبی حجمی در شرایط حین کار ۳۸

پیوست الف (اطلاعاتی) فنون کالیبراسیون ۴۱
پیوست ب (اطلاعاتی) رهنمودهای ایمنی برای انتخاب دبی‌سنج‌های کوریولیس ۴۶
پیوست پ (اطلاعاتی) ملاحظاتی برای سامانه های مایع چند جزیی ۴۹
پیوست ت(اطلاعاتی) مایعات اختلاط پذیر حاوی اجزای بدون برهم کنش از نظر شیمیایی ۵۲
پیوست ث (اطلاعاتی) (کتابنامه) ۵۵

پیش‌گفتار

استاندارد «اندازه‌گیری دبی سیال در کانال‌های بسته –دبی‌سنج‌های کوریولیس (سنجش دبیِ جرمی، چگالی و دبی حجمی) – راهنمای انتخاب، نصب، و کاربرد» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های فنی تهیه و توسط سازمان ملی استاندارد تدوین شده و در دویست و شصت و چهارمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد اندازه شناسی، اوزان و مقیاسها مورخ ۹۴/۱۱/۱۱ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان ملی استاندارد ایران، مصوب بهمن ماه۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظرخواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مآخذی که برای تهیهٔ این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 10790 (2015), Measurement of fluid flow in closed conduits — Guidance to the selection, installation and use of Coriolis flowmeters (mass flow, density and volume flow measurements)

مقدمه

این استاندارد به عنوان راهنمایی برای کسانی که انتخاب، آزمون، بازرسی، بهره‌برداری، و کالیبراسیون دبی‌سنج‌های کوریولیس (مجموعه‌های دبی‌سنجی کوریولیس) سروکار دارند تدوین شده است. فهرستی از استانداردهای مرتبط، در بخش کتاب‌نامه درج شده است.

در این استاندارد اطلاعات زیر ارائه شده است:

الف) تشریح اصول کار کوریولیس؛

ب) راهنمای ویژگی‌های عملکردی مورد انتظار دبی‌سنج‌های کوریولیس؛

پ) تشریح روش‌های کالیبراسیون، تصدیق، و کنترل؛

ت) تشریح منابع خطای بالقوه؛

ث) اصطلاحات، نمادها، تعریف‌ها، و ویژگی‌های معمول.

پاراگراف بعد، حاوی توضیحی در بارهٔ شیوهٔ استفاده از اصطلاحات اندازه‌گیری، عدم قطعیت، و درستی است.

تعریف «درستی» در VIM (به بند ۳-۲ مراجعه کنید): میزان نزدیک بودن مقدار کمیت اندازه‌گیری شده و اندازه واقعی کمیت یک اندازه‌ده است. طبق VIM، درستی نوعی کیفیت است و نباید مقداری عددی به آن تخصیص داد.

برای درک مفهوم پاراگراف پیشین، لازم است بدانیم که چیزی به نام اندازه واقعی کمیت وجود ندارد. بهترین کار ممکن، این است که مقدار کمیت اندازه‌گیری شده با استفاده از ابزار دقیقی که بسیار خوب کالیبره شده است (هرچند حتی کالیبراسیون با چنین مرجعی نیز دارای درستی مطلق نخواهد بود)، تعیین شود. بنابراین هرگونه اندازه‌گیری، صرفاً نوعی تخمین است. عدم قطعیت، برای تعریف چنین تخمین‌هایی به کار گرفته می‌شود (به بند ۳-۲-۲ مراجعه کنید).

بسیاری از سازندگان ابزارهای دبی‌سنجی کوریولیس، از درستی و پایداری در صفر به عنوان بخشی از مشخصات عملکردی در مستندات منتشر شده استفاده می‌کنند. ویژگی «درستی» شامل تکرارپذیری، پس‌ماند، و خطی بودن است اما پارامترهای دیگری نیز می‌تواند در تعریف درستی به کار رود که از سازنده‌ای به سازندهٔ دیگر متفاوت است.

در این استاندارد از عدم قطعیت برای کمّی‌سازی نتایج خروجی سیستم‌های دبی‌سنجی استفاده می‌شود. در این استاندارد تنها هنگامی از «درستی» استفاده می‌شود که کاملاً روشن باشد که معنی آن متشکل از تمام یا بخشی از ویژگی‌های منتشر شده توسط سازنده است.

اندازه‌گیری دبی سیال در کانال‌های بسته– دبی‌سنج‌های کوریولیس (سنجش دبیِ جرمی، چگالی و دبی حجمی)– راهنمای انتخاب، نصب، و کاربرد

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین روشهایی برای انتخاب، نصب، و کالیبراسیون، تعیین عملکرد، و بهره‌برداری از دبی‌سنج‌های کوریولیس برای اندازه‌گیری دبی جرمی و چگالی است. همچنین این استاندارد ملاحظات مفیدی در مورد نوع سیالات مورد اندازه‌گیری و نیز رهنمودهایی برای تعیین دبی حجمی و سایر پارامترهای سیال ارائه می‌دهد.

یادآوری- منظور از سیالات، موادی مانند هوا، گاز طبیعی، آب، روغن، گاز مایع نفتی(LPG)[1]، گاز طبیعی مایع(LNG)[2]، مخلوط‌ها، دوغاب‌ها، و گازهای کارخانه‌ای و مانند آنها است.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی محسوب می‌شود.
در صورتی که به مدارکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظر های بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.
استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است.

۲-۱ استاندارد ملی ایران به شماره ۵۱۶۸، اندازه‌گیری جریان سیال-روش اجرایی برای ارزیابی عدم قطعیت.

۲-۲ استاندارد ملی ایران به شماره ۱۷۰۲۵، الزامات عمومی برای احراز صلاحیت آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون.

۲-۳ استاندارد ملی ایران به شماره ۴۷۲۳، واژه‌نامهٔ اندازه‌شناسی – مفاهیم پایه و عمومی و اصطلاحات مربوط.

1- Liquefied petroleum gas
2- Liquefied natural gas

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود

۱-۳

تعاریف مختص این استاندارد دبی‌سنج کوریولیس

مفهوم اصطلاحات و تعاریف زیر در این استاندارد به شرح زیر است.

۱-۱-۳

دبی‌سنج کوریولیس

وسیله‌ای متشکل از حسگر دبی (جزء اولیه) و یک ارسال‌گر[1] (جزء ثانویه) برای اندازه‌گیری دبی جرمی و چگالی با استفاده از تأثیر متقابل جریان سیال و ارتعاش یک یا چند لوله است

یادآوری- با این وسیله می‌توان دمای لوله(ها) را نیز اندازه‌گیری کرد

۲-۱-۳

حسگر دبی (جزء اولیه)

مجموعه‌ای مکانیکی متشکل از لوله(ها)ی مرتعش، سیستم محرکه، حسگر(ها)، سازهٔ نگه‌دارنده، و غلاف می باشد

۳-۱-۳

ارسال‌گر (جزء ثانویه)

سیستم کنترل الکترونیکی برای تأمین نیروی محرکهٔ الکتریکی و تبدیل سیگنال از حسگر دبی به خروجی(ها) به صورت پارامترهای مورد نظر برای اندازه‌گیری است

یادآوری ۱- ارسال‌گر، تصحیحاتی را نیز در مورد خطاهای حاصل از پارامترهایی مانند دما اِعمال می‌کند.

یادآوری ۲- ارسال‌گر (جزء دوم) یا به صورت سرهم روی حسگر دبی (جزء اول) سوار (وسیلهٔ یک‌تکه) یا به طور جداگانه از طریق سیم به جزء اول وصل می‌شود.

---

1 - Transmitter

از آنجا که اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد شده در خروجی حسگر ناچیز است، برای اجتناب از ورود نوفه به سیستم، مداری برای تقویت سیگنال خروجی در سر راه حسگر به مدار پردازش‌گر یا نشان‌گر در نزدیکی حسگر قرار داده می‌شود. این وسیله «data conditioner» (داده‌پیرا) یا «signal conditioner» (سیگنال‌پیرا) نیز گفته می‌شود. ارسال‌گر یا داده‌پیرا می‌تواند علاوه بر تقویت خروجی، به صورت برنامه‌ریزی شده پردازش‌های خاصی را طبق الگوریتم یا برنامهٔ تعریف شده، روی سیگنال‌های ورودی انجام دهد. برای تمیز دادن از فرستنده‌های بی‌سیم مانند فرستندهٔ وای‌فای از واژهٔ ارسال‌گر در این استاندارد استفاده شده است.

۴-۱-۳

لولهٔ مرتعش

لوله‌ای که سیال مورد نظر برای دبی‌سنجی از آن می‌گذرد.

۵-۱-۳

سیستم محرکه

مدار یا دستگاهی برای ایجاد ارتعاش در لوله است

۶-۱-۳

وسیلهٔ حس‌کننده

حسگری که اثر نیروی کوریولیس را آشکار و بسامد ارتعاش را اندازه می‌گیرد

۷-۱-۳

سازهٔ نگه‌دارنده

اسکلت نگه‌دارندهٔ لوله(ها)ی مرتعش است

۸-۱-۳

غلاف

محافظ حسگر ویا ارسال‌گر از عوامل محیطی است

۹-۱-۳

غلاف ثانویه

غلاف طراحی شده برای محافظت به هنگام ترکیدن لوله است

۱۰-۱-۳

ضریب کالیبراسیون

ضریب عددی که هنگام کالیبراسیون به طور یکّه برای هر حسگر به دست می‌آید

یادآوری- برای این که دبی‌سنج کارش را درست انجام دهد، ضریب کالیبراسیون در برنامهٔ داخل ارسال‌گر تعریف می‌شود

۱۱-۱-۳

رانهٔ صفر[1]

مقدار نشان‌دهی دبی به طوری که گویی جریان سیال در لوله وجود ندارد

1- Zero offset

یادآوری ۱- این وضعیت می‌تواند ناشی از نوفهٔ وارد شدهٔ مکانیکی یا الکتریکی به خروجی حسگر باشد اما در عین حال وضعیت‌های نصب یا مونتاژ نیز که هنگام سفت کردن پیچ‌های بزرگ موجب اِعمال بار پیچشی بر حسگر می‌شود و نیز تغییرات شدید دما که می‌تواند موجب ایجاد تغییر شکل در لوله شود از جملهٔ سایر عوامل هستند

۱۲-۱-۳

پایداریِ در صفر[1]

تغییرپذیریِ خروجی دبی‌سنج پس از انجام تنظیمات در صفر، که توسط سازنده به صورت قدر مطلق جرم بر واحد زمان بیان می‌شود

۱۳-۱-۳

تبخیر جزئی[2]

پدیده‌ای که هنگام افت فشار داخل لوله به حد فشارِ بخار مایع یا کم‌تر از آن روی می‌دهد

یادآوری ۱- معمولاً این پدیده زمانی روی می‌دهد که سرعت مایع دفعتاً افزایش می‌یابد

یادآوری ۲- تبخیر جزئی در مورد گازها مصداق ندارد

۱۴-۱-۳

حباب‌زایی[3]

پدیده‌ای که مرتبط با و در نتیجهٔ تبخیر جزئی مایعات به وجود می‌آید و وقتی فشار داخل لوله پس از افت، مجدداً به حالت اول برمی‌گردد، حباب‌ها از بین می‌روند (تحلیل می‌روند)

۱۵-۱-۳

دبی

نسبت مقدار سیال عبوری از سطح مقطع مجرا به زمان لازم برای گذشتن این مقدار سیال از آن سطح مقطع

۱۶-۱-۳

دبی جرمی

دبی سیال وقتی مقدار سیال بر حسب جرم آن بیان شود

۱۷-۱-۳

دبی حجمی

دبی سیال وقتی مقدار سیال بر حسب حجم آن بیان شود

1- Zero stability
2- Flashing
3- Cavitation

۳-۲ تعاریف برگرفته از VIM، ISO/IEC Guide 99 (JCGM:2012)

۳-۲-۱

تکرارپذیری (شرایط اندازه‌گیری)

شرایط اندازه‌گیری مربوط به مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌ها با استفاده از یک روش، یک فرد، یک سیستم اندازه‌گیری، یک شرایط عملیاتی، و یک محل انجام گیرد و اندازه‌گیری‌های یک جسم یا اجسام مشابه در مدت زمان کوتاه به طور مکرر در آن شرایط انجام شود

یادآوری- شرایط اندازه‌گیری تنها به ازای مجموعه‌ای از شرایط تکرارپذیریِ مشخص شده برای حفاظت محیطی حسگر دبی و/ یا ارسال‌گر، تکرارپذیر است.

۳-۲-۲

عدم قطعیت اندازه‌گیری

پارامتر نامنفی[1] که بر اساس اطلاعات مورد استفاده، پراکنش مقادیر کمیتی را که به یک اندازه‌ده نسبت داده می‌شود، مشخص می‌کند

یادآوری ۱- عدم قطعیت اندازه‌گیری شامل مؤلفه‌های ناشی از اثرات سیستمی، مانند مؤلفه‌های ملازم با تصحیح‌ها و مقادیر کمیت‌های تخصیص یافته از استانداردهای اندازه‌گیری و نیز عدم قطعیت تفکیک‌پذیری است. گاهی عدم قطعیت اندازه‌گیری به ازای اثرات سیستمی تخمینی تصحیح نمی‌شود و به جای آن از مؤلفه‌های عدم قطعیت ملازم ترکیبی استفاده می‌شود.

یادآوری ۲- عدم قطعیت اندازه‌گیری معمولا از مؤلفه‌های بسیاری تشکیل می‌شود. بعضی از این مؤلفه‌ها از طریق روش ارزیابی عدم قطعیت اندازه‌گیری نوع A با استفاده از توزیع آماری مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌های مقادیر کمیت مورد نظر و محاسبه‌ی انحراف از استاندارد به دست می‌آید. سایر مؤلفه‌ها که می‌تواند از طریق ارزیابی عدم قطعیت اندازه‌گیری نوع B ارزیابی شود، عبارت است ازتوابع چگالی احتمال بر مبنای تجربه یا سایر اطلاعات.

۳-۲-۳

خطا

مقدار اندازه‌گیری شدهٔ کمیت، منهای مقدار مرجع کمیت

یادآوری- مفهوم «خطای اندازه‌گیری» می‌تواند در هر دو مورد زیر به کار رود:

الف) وقتی تنها یک مقدار مرجع برای کمیت وجود دارد و زمانی پیش می‌آید که از کالیبراسیون با استفاده از نوعی استاندارد اندازه‌گیری[2] با عدم قطعیت ناچیز برای اندازه‌گیری مقدار کمیت به کار می‌رود یا مقدار کمیت متداولی که در آن خطای اندازه‌گیری، معلوم است، و

ب) اگر اندازه‌دهی با استفاده از مقدار کمیت واقعی واحد یا مجموعه‌ای از مقادیر کمیت واقعی با دامنهٔ ناچیز بیان می‌شود که در آن خطای اندازه‌گیری معلوم نیست.

1-non-negative parameter

۲- تجهیزات، واحدها، یا شیوه‌های اندازه‌گیری مرجع

۴-۲-۳

کالیبراسیون

عملیاتی که تحت شرایط مشخص، در گام نخست، رابطه‌ای میان مقادیر کمیت با عدم قطعیت اندازه‌ده حاصل از استانداردهای اندازه‌گیری و نشان‌دادهای[1] متناظر با عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری متناظر برقرار می‌کند و، درگام دوم، از این اطلاعات برای تعیین فرمولی برای به دست آوردن نتایج اندازه‌گیری از یک نشان‌داد استفاده می‌کند

یادآوری ۱- کالیبراسیون می‌تواند با یک جمله، تابع کالیبراسیون، نمودار کالیبراسیون، منحنی کالیبراسیون، یا جدول کالیبراسیون بیان شود. گاهی کالیبراسیون به صورت تصحیح ضریبی یا افزونه‌ایِ[2] نشان‌داد ملازم با عدم قطعیت اندازه‌گیری بیان می‌شود.

یادآوری ۲- باید کالیبراسیون با تنظیم سیستم اندازه‌گیری که غالباً «خودکالیبراسیون» نامیده می‌شود، و نیز با کالیبراسیون تصدیق اشتباه نشود.

۳-۳ نمادها

جدول ۱ – نمادهای مورد استفاده در این استاندارد

نماد	شرح	ابعاد	یکاهای SI
A_{id}	سطح مقطع داخلی لولهٔ مرتعش	L^2	m^2
a_r	شتاب شعاعی	LT^{-2}	m/s^2
a_t	شتاب عرضی	LT^{-2}	m/s^2
V	سرعت	LT^{-1}	m/s
δm_f	دلتای جرم ذره‌ی جاری	M	kg
δm_{tb}	دلتای جرم عنصر لوله‌ای	M	kg
δF_C	دلتای نیروی کوریولیس	MLT^{-2}	$m{\cdot}kg/s^2$
q_m	دبی جرمی	MT^{-1}	kg/s
P	چگالی	ML^{-3}	kg/m^3
ρ_f	چگالی سیال	ML^{-3}	kg/m^3
ρ_{ref}	چگالی سیال مرجع	ML^{-3}	kg/m^3
tb	لوله	dim-less	—
F_C,Inlet	برآیند نیروی کوریولیس در ورودی	MLT^{-2}	$m{\cdot}kg/s^2$
F_C,Outlet	برآیند نیروی کوریولیس در خروجی	MLT^{-2}	$m{\cdot}kg/s^2$
F_C	نیروی کوریولیس	MLT^{-2}	$m{\cdot}kg/s^2$
sinD	تابع سینوسی (جابه‌جایی، سرعت، یا شتاب)	L, LT^{-1}, or LT^{-2}	m, m/s, or m/s^2
sinA	تابع سینوسی (جابه‌جایی، سرعت، یا شتاب)	L, LT^{-1}, or LT^{-2}	m, m/s, or m/s^2

1- Indication
2- Additional or multiplicative correction

sinB	تابع سینوسی (جابه‌جایی، سرعت، یا شتاب)	L, LT^{-1}, or LT^{-2}	m, m/s, or m/s^2
t_d	تأخیر زمانی	T	s
K_R	ضریب ثابت، ضریب کالیبراسیون اولیهٔ دبی در شرایط استاندارد	MT^{-1}	kg/s/s
Ω	سرعت زاویه‌ای	T^{-1}	rad/s
R	طول	L	m
δx	دلتای طول	L	m
f_{rf}	بسامد تشدید	T	Hz
C	سفتی مکانیکی	MT^{-2}	kg/s^2
m	جرم	M	kg
M	جرم کل – در طول زمانی معین	MT^{-1}	kg/s
m_{tb}	جرم لوله(ها)ی مرتعش	M	kg
m_f	جرم سیال داخل لوله(ها)ی مرتعش	M	kg
V_f	حجم سیال داخل لوله(ها)ی مرتعش	L3	m^3
V	حجم کل – در طول زمانی معین	L^3T^{-1}	m^3/s
K_1, K_2	ضرایب کالیبراسیون چگالی	dim-less	—
T_{rf}	دورهٔ نوسان لولهٔ مرتعش	T	s
N_C	تعداد چرخه‌های	dim-less	—
t_w	پنجرهٔ (دریچهٔ) زمان	T	s
ρ_{ref}	چگالی آب در شرایط مرجع	ML^{-3}	kg/m^3
U_v	عدم قطعیت قابل انتظار اندازه‌گیری دبی حجمی	درصدِ قرائت	—
U_m	عدم قطعیت قابل انتظار اندازه‌گیری دبی جرمی	درصدِ قرائت	—
U_ρ	عدم قطعیت قابل انتظار اندازه‌گیری چگالی	درصدِ قرائت	—
w_A	کسر جرمی مؤلفهٔ A	بی‌بُعد	—
w_B	کسر جرمی مؤلفهٔ B	بی‌بُعد	—
φ_A	کسر حجمی مؤلفهٔ A	بی‌بُعد	—
φ_B	کسر حجمی مؤلفهٔ B	بی‌بُعد	—
ρ_A	چگالی مؤلفهٔ A	ML^{-3}	kg/m^3
ρ_B	چگالی مؤلفهٔ B	ML^{-3}	kg/m^3
ρ_{ms}	چگالی اندازه‌گیری شدهٔ مخلوط	ML^{-3}	kg/m^3
q_{mA}	دبی جرمیِ جزء A	MT^{-1}	kg/s
q_{mB}	دبی جرمیِ جزء B	MT^{-1}	kg/s
q_{mT}	دبی جرم کل مخلوط	MT^{-1}	kg/s
q_{vA}	دبی حجمیِ جزء A	$L3T^{-1}$	m^3/s
q_{vB}	دبی حجمیِ جزء B	$L3T^{-1}$	m^3/s
q_{vT}	دبی حجمی کل مخلوط	$L3T^{-1}$	m^3/s

۴-۳ اختصارات

جدول ۲ – اختصارات به کار رفته در این استاندارد

اختصار	شرح
cP	سانتی‌پواز (گران‌روی دینامیکی) 1 cP = 1 mPa·s
cSt	سانتی‌استوکس (گران‌روی سینتیکی) 1 cSt = 1 mm2/s
cP/SG	گرانروی مورد استفاده در صنعت نفت
DN	اندازه ی لوله در سیستم اروپایی (قطر اسمی، میلی‌متر)
SG	وزن مخصوص
SIP	بخاردهی درمحل
CIP	پاک‌سازی در محل

۴ معیارهای انتخاب دبی‌سنج کوریولیس

۴-۱ کلیات

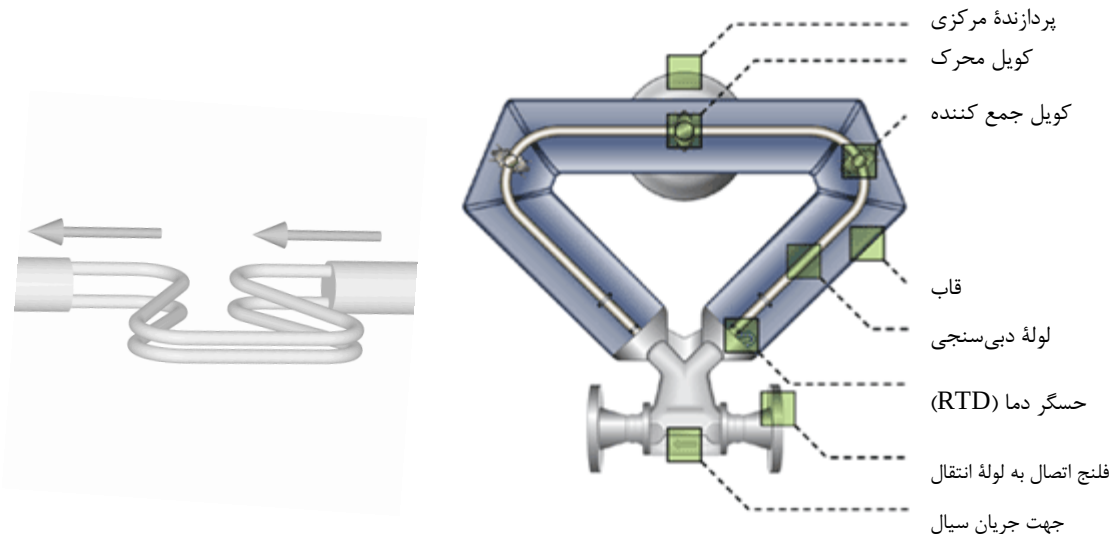
باید برای اندازه‌گیری پارامترهای کاربر دبی‌سنج کوریولیس در محدوده‌های کاری و عدم قطعیت تعیین شده انتخاب شود. هنگام انتخاب دبی‌سنج کوریولیس باید به نکات زیر توجه شود.
دبی‌سنج‌های کوریولیس ابزارهای اندازه‌گیری عمومی محسوب نمی‌شوند از این رو کاربر باید بروشور(ها)ی فنی سازنده را به‌دقت مطالعه کند.

۴-۲ نصب فیزیکی

۴-۲-۱ کلیات

سازنده باید ترتیبات نصب را تشریح و هرگونه محدودیت‌های کاربرد تجهیزات را بیان کند.
طراحی ترتیبات نصب، امکان برآورده کردن الزامات کاربر را برای اندازه‌گیری فراهم می‌کند. نصب دبی‌سنج‌های گاز و مایع می‌تواند متفاوت باشد. در بعضی از کاربردها ممکن است نصب صافی یا شن‌گیر و در بعضی موارد نصب تلهٔبخار و/ یا شیر خودکار هواگیر لازم باشد.
دبی‌سنج‌های کوریولیس به طور معمول در مسیر جریان اصلی نصب می‌شوند اما برای اندازه‌گیری چگالی می‌توان آنها را در مسیر فرعی موازی[1] نیز نصب کرد. در شکل ۱ پیکربندی شماتیک دبی‌سنج کوریولیس دیده می‌شود.

1- Bypass



الف) پیکربندی و اجزای نوعی دبی‌سنج کوریولیس تک‌لولهٔ خم‌دار ب) دبی‌سنج کوریولیس دولولهٔ خم‌دار

شکل ۱ – تصویر شماتیک دبی‌سنج کوریولیس

۴-۲-۲ معیارهای نصب

با یادآوری این که طرح‌های اندازه‌گیری گاز و مایع می‌توانند تفاوت‌هایی با هم داشته باشند، به نکات زیر توجه کنید:

الف) فضای لازم برای نصب دبی‌سنج کوریولیس شامل تجهیزات کنترلی بیرونی یا تجهیزات مرجع در صورتی که کالیبراسیون در محل الزام شده باشد؛

ب) رده و نوع مصالح و اتصالات لوله‌ای، و نیز ابعاد تجهیزات مورد استفاده؛

پ) طبقه‌بندی نواحی خطرخیز؛

ت) حساسیت حسگر به اثرات محیطی، مثلاً، دما، رطوبت، محیط‌های خورنده، ضربهٔ مکانیکی، ارتعاش، و میدان‌های الکترومغناطیسی؛

ث) الزامات نصب، حائل‌ها، و تکیه‌گاه‌ها؛

۴-۲-۳ الزام پر بودن لوله برای مایعات

جزء اولیه بابستی طوری نصب شود که لوله(ها)ی ارتعاشی کاملاً از مایع مورد اندازه‌گیری پر شود. این کار از ایجاد اختلال در عملکرد دستگاه اندازه‌گیری جلوگیری می‌کند. سازنده بابستی، در صورت احتمال وقوع، تمهیدات لازم برای هواگیری یا خارج کردن گاز از دستگاه اندازه‌گیری را مشخص کند.

۴-۲-۴ مشخصات جهتی

گرفتگی[1]، جرم‌گرفتگی، گاز محبوس، مایع محبوس، یا رسوب مواد جامد می‌تواند بر عملکرد دبی‌سنج تأثیر منفی بگذارد. جهت حسگر، به کاربرد مورد نظر دبی‌سنج و مشخصات هندسی لوله(ها)ی مرتعش بستگی دارد. جهت دبی‌سنج کوریولیس باید توسط سازنده مشخص شود.

۴-۲-۵ شرایط جریان و الزامات طول مستقیم

معمولاً در جریان تک‌فازی، پیچش جریان سیال یا نیم‌رخ[2] سرعت نایکنواخت ناشی از پیکربندی لوله‌های بالادست یا پایین‌دست جریان بر عملکرد دبی‌سنج کوریولیس، تأثیر منفی نمی‌گذارد.

۴-۲-۶ شیرها

شیرهای بالادست و پایین‌دست جریان دبی‌سنج کوریولیس به منظور مسدود کردن در عملیات تنظیم‌به‌صفر[3] به کار می‌رود و می‌تواند از هر نوعی باشد به شرط آن که در وضعیت بسته، جریان را کاملاً مسدود کند. شیرهای کنترل سِری با دبی‌سنج کوریولیس بهتر است برای برقراری فشار لازم برای حصول اطمینان از تک‌فاز ماندن و احتراز از تبخیر جزئی یا حباب‌زایی نصب شود.

۴-۲-۷ تمیز کردن

در برخی کاربردها (مثلاً خدمات بهداشتی)، ممکن است دبی‌سنج کوریولیس نیاز به تمیزکاری در محل داشته باشد که می‌تواند به یکی از روشهای زیر انجام شود:

الف) تجهیزات مکانیکی (تجهیزات فراصوتی یا پیگ)

ب) خودزهکشی

پ) تجهیزات هیدرودینامیکی

ت) استریل کردن (بخاردهی در محل، SIP)، و

ث) شیمیایی یا زیستی (پاک‌سازی در محل، CIP).

بهتر است برای پرهیز از سرایت آلودگی پس از کاربرد مواد شست‌وشو دقت شود.

باید بین اجزای تر شوندهٔ[4] حسگر، سیال فرآیند، و مایعات شست‌وشو سازگاری شیمیایی وجود داشته باشد.

1- Plugging

2-profile

3- Zero adjustment

4- Wetted

اجزایی از دبی‌سنج که تماس مستقیم با سیال فرآیند یا سیالات شوینده دارند مانند سطوح داخلی لوله‌ها و بدنه، فلنج‌ها، کویل‌های تحریک و کویل‌های گیرنده، و اجزای درزبندی

۴-۲-۸ ارتعاشات هیدرولیکی و مکانیکی

سازنده بابستی محدودهٔ بسامد عملیاتی دبی‌سنج را مشخص کند تا امکان ارزیابی تأثیرات احتمالی فرآیند بر دیگر بسامدهای مکانیکی ناشی از فرآیند یا اِعمالی از بیرون فراهم شود. این احتمال وجود دارد که عملکرد دبی‌سنج تحت تأثیر بسامدهایی غیر از بسامدهای عملیاتی قرار گیرد. عمدهٔ این اثرات را می‌توان با نصب درست یا گیره‌بندی مناسب دبی‌سنج رفع کرد.

در محیط‌هایی با ارتعاشات مکانیکی قوی یا در مواردی که جریان سیال با ضربان همراه است، بابستی ملاحظات مناسب برای استفاده از وسایل میراساز ضربان (به بند ۴-۳-۷ مراجعه کنید) ویا ارتعاش‌گیرها و/ یا اتصالات انعطاف‌پذیر در نظر گرفته شود.

۴-۲-۹ پیچش و تنش وارد از لوله

حسگر دبی در حین کار، در معرض نیروهای محوری، خمشی، و پیچشی قرار دارد. تغییرات این نیروها که ناشی از تغییرات دما ویا فشار فرآیند است می‌تواند بر اندازه‌گیری دبی جرمی به روش کوریولیس تأثیر منفی بگذارد. بابستی تمهیدات مناسبی را به کار گرفت تا اطمینان حاصل شود که هیچ‌گونه نیرویی از تجهیزات گیره‌بندی بر دبی‌سنج وارد نمی‌شود.

هم‌چنین لازم است اقدامات لازم برای جلوگیری از انتقال تنش‌های ناشی از ناهم‌راستایی اجزای لوله به دبی‌سنج کوریولیس به عمل آید.

تحت هیچ شرایطی نباید از دبی‌سنج کوریولیس برای هم‌راستا کردن لوله‌های دو طرف (بالادست و پایین‌دست) استفاده شود.

۴-۲-۱۰ هم‌شنود[1] بین حسگرها

هرگاه قرار باشد دو یا چند دبی‌سنج کوریولیس نزدیک به هم نصب شوند، ممکن است تداخل مکانیکی ناشی از کوپلینگ مکانیکی روی دهد. به این پدیده، هم‌شنود گفته می‌شود. برای به‌کارگیری روش‌های اجتناب از هم‌شنود بایستس از توصیه‌های سازنده استفاده شود.

هنگام طراحی تأسیسات، بابستی این نکته برای احتراز از تداخل یا «هم‌شنود» در نظر گرفته شود. پس از نصب باید آزمون لازم انجام شود زیرا خطاهای اکتسابی دبی‌سنج در ضمن معنی‌دار بودن ممکن است در هنگام کار عادی، مشهود نباشد. در صورت مشاهدهٔ چنین پدیده‌ای، بهتر است از توصیه‌های سازنده استفاده شود.

۴-۳ اثرات ناشی از شرایط فرآیند و خواص سیال

۴-۳-۱ کلیات

1-Crosstalk

تغییرات خواص سیال مانند چگالی، گرانروی، و شرایط فرآیند مانند دما و فشار، می‌تواند بر عملکرد دبی‌سنج تأثیر بگذارد. این پدیده‌ها اثراتی دارند که بسته به این که کدام پارامتر مورد نظر است با هم متفاوت هستند.

۴-۳-۲ کاربرد و خواص سیال

برای تعیین دبی‌سنج بهینه برای هر کاربرد معین، تعیین محدودهٔ شرایطی که دبی‌سنج کوریولیس در معرض آن قرار خواهد گرفت اهمیت زیادی دارد. این شرایط عبارتند از:

الف- دبی؛

ب- محدودهٔ تغییرات چگالی؛

پ- محدودهٔ تغییرات دما؛

ت- محدودهٔ تغییرات فشار؛

ث- فشار لازم برای سیال (مایع) به طوری که از حباب‌زایی و تبخیر سطحی اجتناب شود؛

ج- افت فشار مجاز؛

چ- محدودهٔ تغییرات گرانروی؛

ح- خواص سیالات تحت سنجش، شامل فشار بخار، جریان دوفازی، و خورندگی؛

خ- یک یا دوطرفه بودن جریان؛

د- پیوسته، منطقع، یا نوسان‌دار بودن جریان؛

ذ- افزودنی‌های خورنده (اثرات افزودنی‌های خورنده یا آلاینده‌ها بر دبی‌سنج‌ها و مقدار و اندازه‌ی مواد خارجی، شامل ذرات ساینده‌ای که امکان حمل آنها توسط جریان مایع وجود دارد).

۴-۳-۳ جریان چندفازی

ویژگی‌های مخلوط‌های مایع، مخلوط‌های همگن جامد در مایع، یا مخلوط‌های همگن گاز در مایع را می‌توان به‌خوبی اندازه‌گیری کرد. در عملیات اندازه‌گیری سیستم‌هایی با دو یا چند فاز متشکل از مخلوط‌های ناهمگن، امکان ورود خطاهای اضافی در برخی از موارد وجود دارد که می‌تواند باعث توقف کار دبی‌سنج کوریولیس شود. به دلیل بروز تصادفی چنین پدیده‌هایی، و نیز تعدد کاربرد پارامترهای خاصی که بر اندازه‌گیری اثر می‌گذارند (مانند نیم‌رخ جریان، سرعت سیال، چگالی، و غیره)، تأثیر در عدم قطعیت اندازه‌گیری به طورکامل قابل پیش‌بینی نیست. ازاین‌رو، کاربرد روش‌های پیشگیرانه (مانند نصب سیستم‌های کنترل سطح مخزن، یا تجهیزات گاززدایی) توصیه می‌شود. شرح نحوهٔ نصب این تجهیزات مانند شناورهای کنترل سطح مخزن و جداکننده‌های گاز، خارج از دامنهٔ بحث این استاندارد است.

گازهای حل شده در مایع نیز می‌توانند سبب تبخیر جزئی ناشی از افت فشار در لوله‌های بالادست یا دبی‌سنج کوریولیس شود. حباب‌های گاز می‌تواند منجر به ایجاد حفره‌های بزرگ‌تری شود که در کار اندازه‌گیری اختلال ایجاد می‌کنند. افزایش فشار (مثلاً با نصب حسگر در طرف پرفشار وسایل کنترل یا فشارشکن‌ها) به نگه داشتن گاز در حالت محلول کمک می‌کند. اگر امکان توزیع همگن گاز به صورت

مخلوط برای اجتناب از نامتوازن بودن محتوای گاز در لوله‌های اندازه‌گیری یا بین مقاطع ورودی و خروجی لوله(ها) وجود داشته باشد، دبی‌سنج کار خود را با کسر حجمی زیاد گاز و عدم قطعیت کم‌تری انجام می‌دهد.

در مورد کاربرد های بهره هر گاه لوله ها در شروع فرایند بهره خالی باشند، توده بزرگی از گاز را می توان با فشار درون دبی سنج کوریولیس وارد نمود. به دلیل رفتار نامشخص خطای دبی‌سنج کوریولیس، زمان لازم برای پر شدن دبی‌سنج کوریولیس بهتر است تا حد ممکن کوتاه در نظر گرفته شود.

یادآوری- هنگامی که سیال از بیش از دو جزء تشکیل شده باشد، برای تمایز اجزای مختلف مخلوط (مانند آب، گاز، و روغن)، اندازه‌گیری‌های بیشتری لازم است (مانند فشار، گذردهی[1]، درصد آب، یا سرعت). نوعاً این کار در مورد سیستم دبی‌سنجی چندفازه انجام می‌شود.

۴-۳-۴ اثر نوع مایع فرآیند

فرسایش، خوردگی، و ته‌نشینی و چسبیدن مواد به جدار داخلی لوله(ها)ی مرتعش (که به آن جرم‌گرفتگی نیز گفته می‌شود) می‌تواند در درجهٔ نخست باعث خطای اندازه‌گیری دبی و چگالی، و در مدت طولانی‌تر باعث خراب شدن حسگر شود.

۴-۳-۵ اثرات دما

تغییر دما خواص لوله(ها)ی مرتعش را تحت تأثیر می‌دهد و تغییر خواص این لوله‌ها نیز بر اندازه‌گیری پارامترهای فرآیند انتقال سیال توسط دبی‌سنج کوریولیس تأثیر می‌گذارد. معمولاً در مدار ارسال‌گر، امکاناتی برای جبران اثر دمایی وجود دارد.

به کاربران توصیه می‌شود در مورد اثرات دمایی به نظرات سازنده‌ی دبی‌سنج مراجعه کنند.

۴-۳-۶ اثرات فشار

تغییرات فشار استاتیک می‌تواند بر نتیجهٔ اندازه‌گیری فرآیند انتقال سیال توسط دبی‌سنج کوریولیس اثر بگذارد. گسترهٔ اثر بر اندازه‌گیری باید توسط سازنده اعلام شود.

۴-۳-۷ اثرات جریان ضربان‌دار

دبی‌سنج کوریولیس معمولا قادر به کار در شرایط جریان ضربان‌دار هستند جز در مواردی که ضربان نسبتاً شدید باشد و این شرایط زمانی پیش می‌آید که پمپ‌های پیستونیِ فرآیند تولید در نزدیکی سیستم اندازه‌گیری باشد. در صورت بروز چنین شرایطی، باید اقدامات لازم برای کاهش ضربان‌ها به میزانی که بر عملکرد سیستم اندازه‌گیری تأثیر منفی نگذارد، انجام شود. این اقدامات غالباً مستلزم گذراندن سیال از نوعی تجهیزات واسطه‌ای برای کاهش ضربان سیال با تجهیزات میرا کننده، تعویض نوع پمپ، و غیره است (به بند ۴-۲-۸ مراجعه کنید). برای استفاده از وسایل میراکنندهٔ ضربان، به توصیه‌های سازنده مراجعه کنید.

1- Permetivity

۴-۳-۸ اثرات گرانروی

سیالات با گرانروی زیاد ممکن است باعث افت انرژی سیستم تحریک دبی‌سنج کوریولیس شوند. این پدیده می‌تواند باعث واماندگی[1] لحظه‌ایِ لوله‌های حسگر در لحظات اولیهٔ شروع به حرکت سیال شود.
در صورت نیاز به عملکرد بهتر در شرایطی که محدودهٔ تغییرات گران‌روی زیاد است، می‌توان تصدیق کالیبراسیون دبی‌سنج کوریولیس در سیالات با گرانروی زیاد را در نظر گرفت.

۴-۳-۹ تبخیر جزئی یا حباب‌زایی

سرعت نسبتاً زیاد و تغییرات سریع سرعت مایعات که غالباً در دبی‌سنج کوریولیس معمول است، باعث افت فشار موضعی دینامیک در داخلی دبی‌سنج و درنتیجه، تبخیر جزئی و/ یا حباب‌زایی می‌شود.
بهتر است همواره از هر دو پدیدهٔ تبخیر جزئی و حباب‌زایی در دبی‌سنج کوریولیس (و در فاصلهٔ اندکی از بالادست و/ یا پایین‌دست دستگاه) اجتناب شود. تبخیر جزئی و حباب‌زایی باعث ایجاد خطای اندازه‌گیری و نیز صدمه به حسگر می‌شود.

۴-۴ افت فشار

هنگام گذرِ سیال از داخل حسگر، افت فشار روی می‌دهد. مقدار این افت، تابعی از اندازه و شکل هندسیِ لوله(ها)ی مرتعش، دبیِ جرمی، و گران‌روی دینامیک سیال فرآیند است.
سازنده‌ها باید فرآیندی (برنامهٔ تعیین اندازه یا نمودار) برای تعیین افت فشار در دو سر دبی‌سنج در اختیار کاربران بگذارند.

۴-۵ ایمنی

۴-۵-۱ کلیات

دبی‌سنج را نباید در شرایطی خارج از محدوده مجاز به کار برد. هم‌چنین، دبی‌سنج‌ها باید حائز الزامات مربوط به طبقه‌بندی مناطق خطرآفرین باشند. ملاحظات تکمیلی زیر نیز در مورد ایمنی این تجهیزات توصیه می‌شود در نظر گرفته شود.

۴-۵-۲ آزمون فشار هیدروستاتیک

اجزای ترشوندهٔ حسگر دبی‌سنج کاملاً مونتاژ شده باید مطابق استاندارد مناسبی تحت آزمون هیدروستاتیک قرار گیرند.

1- Stall

۴-۵-۳ تنش مکانیکی

دبی‌سنج مورد نظر باید چنان طراحی شود که بتواند در مقابل تمام بارهای ناشی از نوسان مجموعهٔ لوله(ها)، دما، فشار، و ارتعاش لوله مقاومت کند. کاربر بهتر است محدودیت‌های حسگر را همواره رعایت کند.

۴-۵-۴ فرسایش

جریان سیالات حاوی ذرات جامد یا مایعات حاوی حباب می‌توانند باعث فرسایش لوله(ها)ی مرتعش شود. اثر فرسایش به اندازه و شکل هندسی دبی‌سنج، اندازه‌ی ذرات، نوع ساینده‌ها، و سرعت بستگی دارد. فرسایش باید به ازای تمام انواع کاربردهای دبی‌سنج ارزیابی شود.

۴-۵-۵ خوردگی

خوردگی، به صورت خوردگی گالوانیک مواد تر شونده می‌تواند تأثیر مخربی بر چرخهٔ عمر بهره‌برداری از حسگر، لوله، و فلنج‌های دبی‌سنج بگذارد. ساختار مواد حسگر دبی‌سنج بابستی چنان انتخاب شود که با سیالات فرآیند و مواد شست‌وشو سازگار باشد[۱]. در زمان‌های توقف فرآیند و خالی بودن لوله‌ها، مراقبت ویژه‌ای باید در مورد اثرات گالوانیک به عمل آید. خوردگی باعث اختلال در عملکرد دبی‌سنج نیز می‌شود. تمامی مواد ترشونده باید مشخص شوند.

۴-۵-۶ طراحی غلاف

بابستی غلاف در درجهٔ اول برای محافظت حسگر دبی‌سنج از اثرات مخرب ناشی از محیط اطراف (گل و لای، شبنم، و برخوردهای مکانیکی) که ممکن است با کار دبی‌سنج تداخل کنند طراحی شود. اگر لوله(ها) مرتعش دبی‌سنج کوریولیس سوراخ شوند، غلاف محافظ لوله(ها) در معرض سیال فرآیند قرار گرفته و ممکن است موجب وامانی غلاف[۲] شود.

لازم است موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

الف- فشار داخل غلاف می‌تواند از حدود فشار طراحی بیشتر شود؛

ب- سیال می‌تواند سمی، خورنده، یا فرار بوده و ممکن است از غلاف به بیرون نشت کند. برای اجتناب از چنین مسائلی، تمهیدات خاصی به شرح زیر در طراحی پیش‌بینی می‌شود:

- محافظ لولهٔ ثانویهٔ مقاوم به فشار؛
- دیسک‌های پُکنده[۳] یا شیرهای فشارشکن، زهکش سیال، یا هواگیر[۴]؛

۱- بدنه و لوله‌های دبی‌سنج کورویولیس معمولاً از جنس فولاد زنگ‌نزن یا هستلوی سی (Hastelloy C)، آلیاژی از نیکل، کرم، و مولیبدن است

2- Housing failure

3- Burst disc

دیافراگم فشارشکن نیز نامیده می‌شود و به صورت دیسک نازکی است که در مسیر لولهٔ حاوی سیال نصب می‌شود در صورت افزایش فشار از حد معینی پار می‌شوند و سیال را به مسیر دیگری هدایت می‌کند.

4- Vent

راهنمای تعیین محافظ فشار ثانویه در پیوست ب داده شده است.

۴-۵-۷ تمیزکاری

رهنمودهای کلی در بند ۴-۲-۷ داده شده است.
لازم است توجه کافی به عمل آید تا اطمینان حاصل شود تا شرایط تمیزکاری (نوع سیال، دما، دبی، و غیره) با مواد دبی‌سنج کوریولیس سازگار باشد.

۴-۶ ارسال‌گر (جزء ثانویه)

دبی‌سنج‌های کوریولیس، ادواتی چندمتغیری هستند که قادر به تأمین گستره‌ای از داده‌های اندازه‌گیری از نقطهٔ واحدی از فرآیند هستند. برای انتخاب مناسب‌ترین ارسال‌گر، لازم است موارد زیر در نظر گرفته شود:

الف- سازگاری الکتریکی، الکترونیکی، اقلیمی، و ایمنی؛

ب- یک‌پارچه بودن با حسگر یا جدا بودن از آن؛

پ- انواع و تعداد خروجی‌های لازم؛

ت- سهولت و امنیت برنامه‌دهی؛

ث- ثبات کافی در خروجی‌ها و زمان پاسخ معقول، و در صورت آنالوگ بودن خروجی، داشتن تنظیم برای پهنهٔ بیشینه و کمینه؛

ج- خطاهای سیستمی نشان‌دهنده‌های خروجی(ها)؛

چ- گزینه‌های لازم ورودی مانند تنظیم به صفر از راه دور، صفر کردن شمارنده[1]، و تشخیص هشدار؛

ح- نوع ارتباط و مبادلهٔ دادهٔ دیجیتالی؛

خ- ورودی‌های ثانویهٔ ابزار دقیق مانند فشار، دما، و چگالی فرآیند؛

د- میزان عدم قطعیت اندازه‌گیری.

۴-۷ تشخیص عیوب

دبی‌سنج کوریولیس انواع مختلفی از سیگنال‌ها را مانند جریان الکتریکی مورد استفاده برای به نوسان درآوردن لوله(ها)ی اندازه‌گیری، از طریق ارسال‌گر به حسگر می‌فرستد و سیگنال‌هایی نیز مانند سیگنال مدوله شدهٔ فرکانسی حاصل از حسگرهای حرکت حسگر به ارسال‌گر می‌رسد.
هرچند این سیگنال‌ها در درجهٔ اول برای حصول اطمینان از کارکرد اندازه‌گیری به کار می‌روند، می‌توان اطلاعات دیگری هم برای تشخیص عیوب عمل‌کردی - با استفاده از مقایسه با مقادیر مرجع یا با استفاده از الگوریتم‌های نرم‌افزاری- فراهم کرد. این ویژگی را می‌توان در ارسال‌گر کار گذاشت یا می‌توان داده‌ها را برای پردازش مراحل بعد به سیستم کنترل فرستاد. عملکردهای تشخیصی را می‌توان برای نشان دادن

1- Totalizer

اطلاعات جزیی‌تر در مورد وضعیت فرآیند یا سیستم به کار گرفت. در مورد وجود امکانات تشخیصی در دبی‌سنج، کاربر بابستی با سازنده مشورت کند.

۵ بازرسی و انطباق

دبی‌سنج‌های کوریولیس جزئی از سیستم لوله‌کشی (ابزاردقیق سرراهی[1]) به شمار می‌روند، ازاین‌رو ضروری است این ادوات تحت آزمون‌هایی مشابه آزمون‌های اعمال شده بر سایر تجهیزات سرراهی قرار گیرند.

تمام کالیبراسیون‌ها و آزمون‌ها باید توسط آزمایشگاهی با اعتباردهی ایزو ۱۷۰۲۵ یا آزمایشگاهی با سیستم‌های کیفی دیگری که بتواند قابلیت ردیابی تا استانداردهای ملی و بین‌المللی را اثبات کند، انجام شود.

علاوه بر کالیبراسیون ادوات ویا کنترل‌های عملکردی، آزمون‌های اختیاری زیر نیز می‌تواند برای برآورده کردن الزامات مکانیکی انجام شود:

الف- کنترل‌های ابعادی؛

ب- آزمون‌های هیدروستاتیک تکمیلی، مطابق با روش‌های قابل ردیابی که توسط کاربر مشخص می‌شود؛

پ- بررسی از طریق آزمون‌های پرتودهی ویا فراصوت روی جزء اولیه برای آشکارسازی عیوب داخلی (مانند آخال‌ها) و تصدیق انسجام جوش.

در صورت درخواست، نتایج آزمون‌ها بالا بهتر است در گزارشی رسمی ارائه شود.

علاوه بر گزارش‌های بالا، گواهی‌های زیر بهتر است هنگام بازرسی نهایی در دسترس باشند:

۱- گواهی‌های مواد برای تمامی قطعات تحت فشار؛

۲- گواهی انطباق (طبقه‌بندی‌های مکانی تجهیزات الکتریکی[2])؛

۳- گواهی رعایت مقررات[3]؛

۴- گواهی کالیبراسیون و نتایج آزمون‌ها.

۶ اندازه‌گیری دبی جرمی

۶-۱ دستگاه

۶-۱-۱ اصول کار(اصول عملیات)

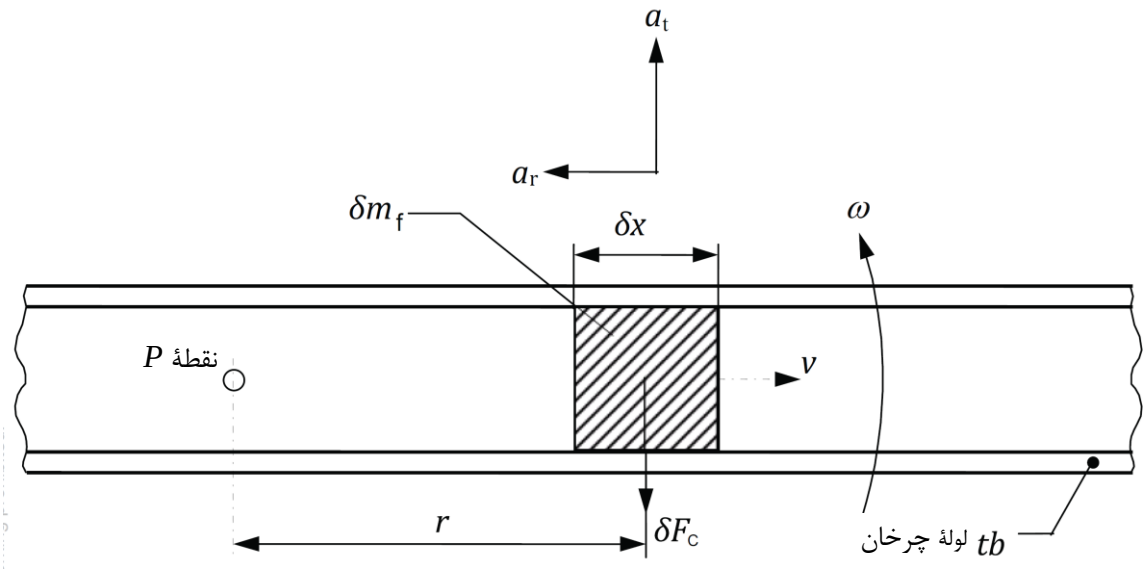
1- In-line instrument

2- Electrical area classifications

نوعی استاندارد یا مقررات محدود کننده برای کاربرد تجهیزات الکتریکی، مانند کاربرد تجهیزات در محل‌هایی که گازهای مشتعل یا منفجر شونده وجود دارد.

3- Certificate of compliance

دبی‌سنج‌های کوریولیس طبق این اصل عمل می‌کنند که نیروهای ماند[1]، هنگامی ایجاد می‌شوند که یک ذره روی جسم چرخان نسبت به آن جسم، به سمت خارج و دورشونده از مرکز دوران حرکت می‌کند.
این نیروی ماندی، نیروی کوریولیس نامیده می‌شود که اصل حاکم بر آن در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲ – اصل حاکم بر نیروی کوریولیس در یک لولهٔ چرخان

یک ذرهٔ جاری، به جرم δmf، با سرعت ثابتی برابر v در داخل لوله‌ای مانند tb که با سرعت زاویه‌ای ω در فاصلهٔ r از نقطهٔ ثابتی مانند P می‌لغزد. این ذره دارای شتابی با دو مؤلفه است:
الف- شتاب شعاعی (گریز از مرکز)، به نام a_r برابر با $r\omega^2$ که جهت آن به سمت P است، و
ب- شتاب عرضی (کوریولیس)، به نام a_t برابر با $2v\omega$ تحت زاویهٔ ۱۸۰ درجه نسبت به a_r و در جهت نشان داده شده در شکل ۲.

$$\delta F_C = 2\omega v \delta m_f \qquad (۱)$$

هرگاه یک ذرهٔ جاری به جرم ρ با سرعت ثابت v در امتداد لولهٔ چرخان طبق شکل ۲، به هر طول دلخواه δx از لولهٔ چرخان نیروی کوریولیس عرضی به اندازهٔ

$$\delta F_C = 2\omega v \rho A_{id} \delta x \qquad (۲)$$

وارد می‌شود که در آن:
A_{id} مساحت سطح مقطع داخل لوله است.
چون دبی جرمی q_m می‌تواند به صورت

1- inertia forces

$$q_m = v\rho A_{id} \quad (۳)$$

بیان شود، نیروی کوریولیس عرضی δF_C را می‌توان به صورت رابطهٔ زیر نشان داد:

$$\delta F_C = 2\omega q_m \delta x \quad (۴)$$

در دبی‌سنج‌های کوریولیس تجاری، نیروی کوریولیس در لوله‌های چرخان به طور مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شود. به جای آن، اندازه‌گیری از طریق لوله‌های مرتعش صورت می‌گیرد زیرا ارتعاش نوع خاصی از حرکت چرخشی محسوب می‌شود. عملکرد کلی مطابق اصل ارتعاش به صورت شماتیک در شکل ۳ نشان داده شده است.

در شکل ۳-الف، ورودی و خروجی لولهٔ دبی‌سنج دارای تکیه‌گاه گیردار است و شکل آن می‌تواند خمیده یا مستقیم باشد. از طریق نوعی مکانیزم تحریک ارتعاش که معمولاً در وسط قرار می‌گیرد، این لوله وادار به حرکت نوسانی سینوسی می‌شود. مثلاً، در حالت تحریک، ذرهٔ سیال، δm_f، و اِلمانی از لوله، δm_{tb}، به هم متصلند، و حرکت آن را می‌توان با تابع سینوسی sin D نشان داد.

مطلوب این است که وقتی جریانی وجود ندارد، حرکت‌های سینوس در مقاطع ورودی و خروجی، sin A و sin B، مطابق شکل ۳-ب هم‌فاز باشند.

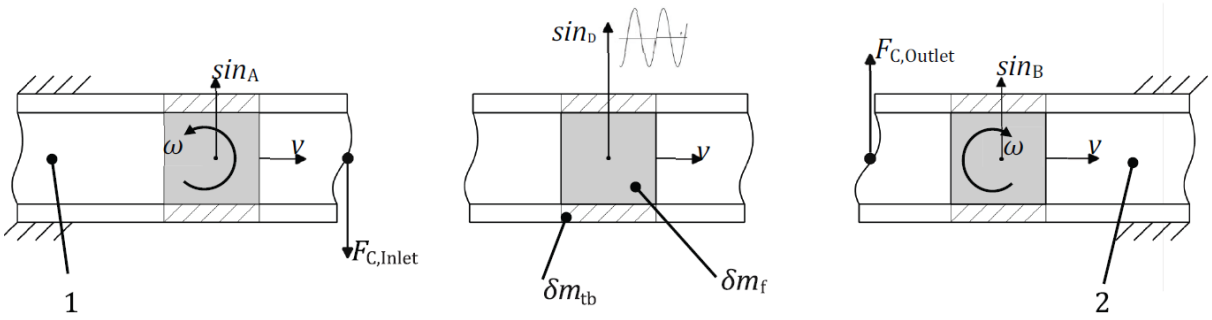
وقتی جریان سیال شروع می‌شود، نیروهای کوریولیس به دلیل سرعت سیال، v ، و مؤلفه‌های چرخشی، ω، ذرات سیال در مقاطع ورودی و خروجی ایجاد می‌شوند. بااین‌حال، ، به دلیل قرار داشتن مؤلفه‌های چرخشی ذرات در ورودی و خروجی در جهت‌های مخالف هم طبق شکل ۳-الف، نیروهای کوریولیس حاصله در مقاطع ورودی و خروجی، $FC_{,Inlet}$ و $FC_{,Outlet}$ در جهت مخالف هم هستند. ازاین‌رو، حرکت‌های سینوسی لوله در مقاطع ورودی و خروجی، sin A و sin B، دیگر طبق شکل ۲-پ هم‌فاز نیستند. دبی جرمی دارای نسبت مستقیم با تأخیر زمانی، t_d، میان این دو سیگنال طبق فرمول (۵) هستند:

$$q_m = K_R \cdot t_d \quad (۵)$$

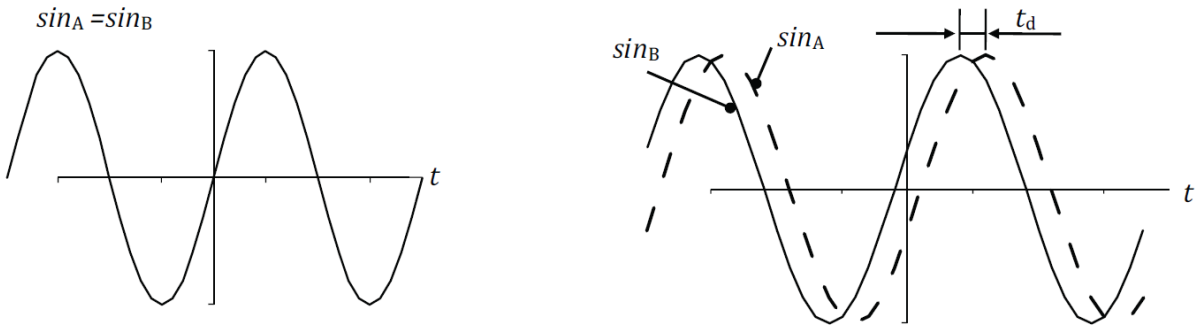
که در آن:

K_R عددی ثابت و ضریب کالیبراسیون دبی اولیه در شرایط مرجع است.

لازم به یادآوری است که در شکل ۳-پ، تأخیر زمانی صرفاً برای فهم مطلب در پیک سیگنال‌های سینوسی نشان داده شده است. به لحاظ نظری، تأخیر زمانی را می‌توان در هر نقطه‌ای در طول دو سیگنال سینوسی اندازه گرفت. ازاین‌رو سازنده‌های مختلف می‌توانند از روش‌های مختلف برای اندازه‌گیری این تأخیر زمانی استفاده کنند. مطلوب این است که وقتی جریانی وجود ندارد، حرکت‌های سینوسی در ورودی و خروجی، sin A و sin B، طبق شکل ۳-ب هم‌فاز باشند. یادآوری می‌شود که حرکت‌های سینوسی را که می‌تواند به صورت جابه‌جایی، سرعت، شتاب، یا تغییر شکل باشد، می‌توان به روش‌های مختلفی اندازه‌گیری کرد و دبی‌سنج‌های کوریولیس معمولاً از حسگرهای آهنربایی/کویلی برای حس کردن سرعت استفاده می‌کنند.



الف) حرکت در یک سیستم لوله‌ای کامل



بدون دبی

با دبی

راهنما:

۱ ورودی لوله

۲ خروجی لوله

شکل ۳ – اصل حاکم بر کارکرد دبی‌سنج‌های کوریولیس برای اندازه‌گیری دبی جرمی

۶-۱-۲ حسگر کوریولیس

دبی‌سنج کوریولیس نوعی سیستم الکترومکانیکی است که از یک حسگر دبی و یک ارسال‌گر تشکیل می‌شود. حسگر دبی‌سنج کوریولیس، جزء مکانیکی اولیه است و فرستند عمل کنترل و پردازش سیگنال را انجام می‌دهد.

یک یا چند لولهٔ دبی‌سنج در مجموعهٔ اندازه‌گیری داخلی وجود دارد که به صورت خمیده یا مستقیم هستند. در اغلب دبی‌سنج‌ها، لولهٔ دبی‌سنج بین ورودی و خروجی گیردار است و در حدفاصل این دو نقطه نوسان می‌کند. این نوسان معمولاً با استفاده از میدان الکترومغناطیسی ایجاد شده توسط سیم‌پیچ و آهن‌ربا ایجاد می‌شود. ادوات حس کردن حرکت نیز در داخل حسگر دبی کار گذاشته شده است تا حرکت‌ها را در مقاطع ورودی و خروجی آشکار کند.

سازهٔ نگه‌دارنده، معمولا یک غلاف حسگر برای حفاظت یا محفظهٔ ثانویه‌ای برای وامانی احتمالی لوله‌های دبی‌سنج است. هم‌چنین، دبی‌سنج‌ها دارای اتصالاتی برای قرار دادن در مسیر خط لولهٔ مورد نظر کاربر هستند.

مشخصات حسگرها، با ضرایب کالیبراسیون دبی که در حین ساخت و کالیبراسیون به دست آمده‌اند تعیین می‌شود. این مقادیر برای هر حسگر، منحصر به فرد بوده و معمولاً در گواهی کالیبراسیون و/ یا پلاک مشخصات روی غلاف حسگر درج می‌شود.

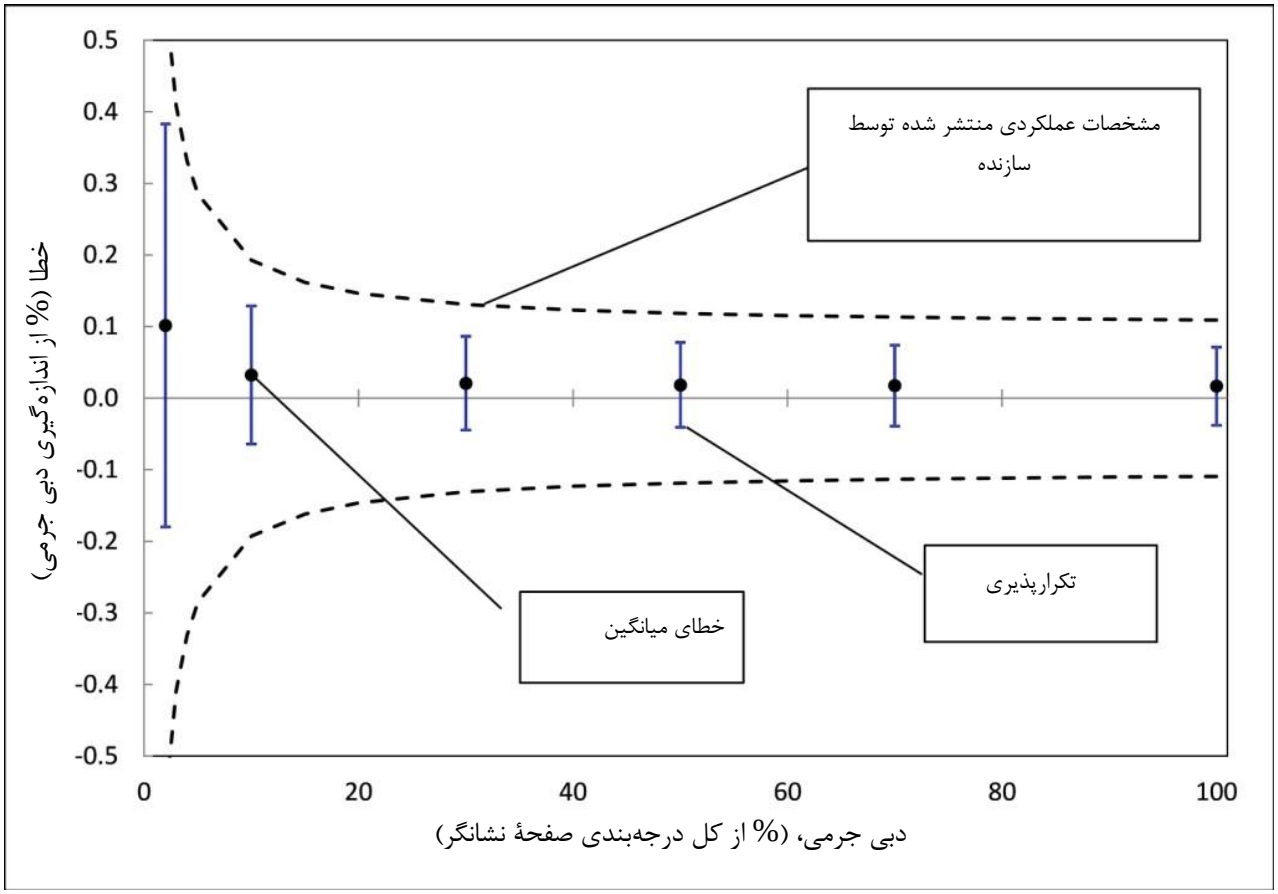
۶-۱-۳ ارسال‌گر کوریولیس

دبی‌سنج کوریولیس مستلزم استفاده از نوعی ارسال‌گر برای تأمین انرژی تحریک و پردازش سیگنال‌های حاصله است. هنگام اتصال ارسال‌گر به حسگر، لازم است ضرایب کالیبراسیون روی پلاک مشخصات یا گواهی کالیبراسیون به ارسال‌گر وارد شود.
معمولاً برای تعیین جرم کل، از دبی جرمی نسبت به زمان انتگرال گرفته می‌شود.
ارسال‌گر ممکن است نرم‌افزاری داشته باشد که برای ارزیابی سایر پارامترها به کار رود که پیکربندی تکمیلی برای آنها لازم است. در صورت اندازه‌گیری چگالی یا حجم، الزامات خروجی مستلزم وارد کردن ضرایب دیگری در نرم‌افزار است. معمولاً تمام خروجی‌ها به طور جداگانه مقیاس‌بندی می‌شوند.

۶-۲ اندازه‌گیری دبی جرمی

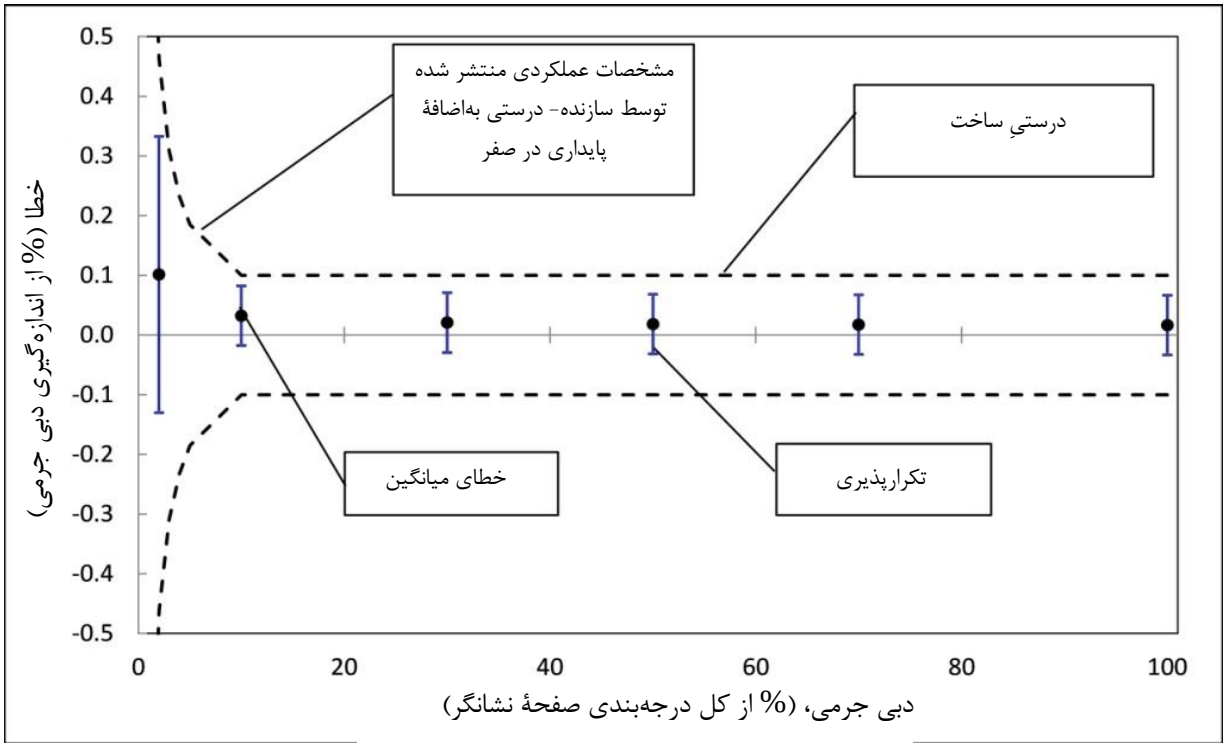
ضروری است توجه شود که نتیجهٔ هر اندازه‌گیری، صرفاً تخمینی از کمیت فیزیکیِ مورد اندازه‌گیری است. ازاین‌رو، هنگام گزارش نتیجهٔ اندازه‌گیری، لازم است معیار عددی از کیفیت نتیجه نیز درج شود تا امکان ارزیابی میزان اعتبار نتیجه برای کاربران فراهم شود. بدون چنین داده‌ای، توصیه نباید نتایج اندازه‌گیری با همدیگر یا مقادیر مرجع یک مشخصه یا استاندارد مقایسه شوند.
عدم قطعیت اندازه‌گیری، پارامتری است که پراکنش مقادیر اندازه‌گیری ملازم با نتیجهٔ اندازه‌گیری را مشخص می‌کند. این پارامتر به صورت درصدی از مقدار قرائت شده، در بازهٔ اطمینانی که معمولاً برابر ۹۵% است، بیان می‌شود. تخمین عدم قطعیت اندازه‌گیری، مستلزم وارد کردن تمام عوامل دخیل در هر شرایط معین است که صرفاً محدود به عوامل ناشی از خود دبی‌سنج نیست و عواملی مانند تجهیزات کالیبراسیون، فرآیند، و شرایط نصب نیز در محاسبهٔ آن دخالت داده می‌شود.
سازنده‌های دبی‌سنج‌های کوریولیس، غالباً عملکرد اندازه‌گیری دبی جرمی را به صورت درصدی از مقدار قرائت شده مشخص می‌کنند. مشخصهٔ عملکردیِ منتشر شده توسط سازنده برای دبی جرمی، عوامل ترکیبیِ درستی و پایداری در صفر را شامل می‌شود. مشخصهٔ درستی بیان شده از سوی سازنده شامل تکرارپذیری، پس‌ماند، و خطی بودن است اما سازنده‌های مختلف، اقلام داده‌ای دیگری را نیز ممکن است در محاسبهٔ این مشخصه وارد کنند. مشخصات عملکردیِ منتشر شده توسط سازنده معمولاً شامل عبارتی مانند در شرایط مرجع است. شرایط مرجع همهٔ سازنده‌ها الزاماً یکسان نیست.
برای تعیین عملکرد قابل انتظار دبی‌سنج کوریولیس در دبی معین، معمولاً دو رویکرد توسط سازنده‌های این ادوات وجود دارد. در رویکرد نخست، پایداریِ ماندن در صفر به صورت درصدی از مقدار قرائت شده

در دبی معین، محاسبه شده و برای تعریف مشخصهٔ عملکردی طبق شکل ۴ به مقدار پایهٔ درستی افزوده می‌شود.



شکل ۴ – نمونهٔ نمودار مشخصه‌های عملکردی منتشر شده توسط سازنده‌های دبی‌سنج‌های کوریولیس، رویکرد نخست

در رویکرد دوم برای تعیین عملکرد قابل انتظار دبی‌سنج کوریولیس، از دبی معینی برای تعیین پایداری در صفر یا مقدار پایهٔ درستی استفاده می‌شود. پایین‌تر از آن دبی معین، پایداری در صفر به صورت درصدی از مقدار قرائت شده در دبی مشخص شده برای تعیین مشخصهٔ عملکردی محاسبه می‌شود. بالای آن دبی معین، مقدار پایهٔ درستی به عنوان ضریب ثابتی برای تعیین مشخصهٔ عملکردی به کار می‌رود. رویکرد دوم در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵ – نمونهٔ نمودار مشخصه‌های عملکردی منتشر شده توسط سازنده‌های دبی‌سنج کوریولیس، رویکرد دوم

چون مشخصه‌های عملکردی منتشر شده از سوی سازنده‌ها معمولا با استفاده از تجهیزات کالیبراسیون به عنوان شرایط مرجع تعریف می‌شود، تخمین عدم قطعیت اندازه‌گیری مستلزم در نظر گرفتن و اضافه کردن دیگر عوامل منطقیِ دخیل است. این عدم قطعیت‌های تکمیلی با جزئیات بیشتر در بند ۴-۳ شرح داده شده است و می‌تواند شامل اقلام زیر باشد:

الف- عدم قطعیت تجهیزات کالیبراسیون، که معمولاً در گواهی کالیبراسیون نوشته می‌شود

ب- خطاهای احتمالی ناشی از شرایط فرآیند که از شرایط مرجع مشخص شده انحراف دارد، مانند دما و فشار فرآیند؛

پ- خطاهای محتمل ناشی از شرایط نصب مانند تغییرات دمای محیطی.

۶-۳ عوامل تأثیرگذار بر اندازه‌گیری دبی جرمی

۶-۳-۱ چگالی و گرانروی

چگالی و گرانروی می‌تواند تأثیری جزئی بر اندازه‌گیری‌های دبی جرمی داشته باشد درنتیجه، نیازی به جبران آن وجود ندارد. اما در بعضی انواع و اندازه‌های دبی‌سنج‌ها، تغییرات چگالی و یا گرانروی می‌تواند مقداری رانه[1] در خروجی دبی‌سنج در دبی صفر یا در ضریب کالیبراسیون دبی‌سنج ایجاد کند. این

1- Offset

یعنی عقربه یا رقم‌شمار در جایی که باید باشد نیست. مثلاً وقتی سیالی در لوله جاری نیست، انتظار داریم عقربه یا رقم‌شمار عدد صفر را نشان دهد درحالی‌که عددی غیر از صفر را نشان می‌دهد. مقدار انحراف از مقدار قابل انتظار (مثلاً نقطهٔ صفر)، نابه‌جایی نامیده می‌شود.

نابه‌جایی را می‌توان با انجام تنظیم به صفر (به بند ۶-۴ مراجعه کنید) در شرایط کاری حذف کرد. برای تأثیرات گرانروی به بند ۴-۳-۸ مراجعه کنید.

۶-۳-۲ دبی سیالات چندفازی

مخلوط‌های مایع، مخلوط‌های همگنِ جامد در مایع، و مخلوط‌های همگن مایع با نسبت اندک گاز را می‌توان در بسیاری از موارد به طور رضایت‌بخشی اندازه‌گیری کرد. تا حد امکان بهتر است از دوفاز شدن جریان سیال اجتناب کرد زیرا منجر به افزایش عدم قطعیت می‌شود. در اندازه‌گیری سیالات چندفازی با مخلوط‌های ناهمگن، خطاهای بیشتری می‌تواند بروز کند.
لازم است اطمینان حاصل شود که احتباس حباب گاز یا قطرات نم در داخل دبی‌سنج وجود ندارد (به بند ۴-۲-۴ مراجعه کنید). بهتر است در چنین شرایطی، توجه خاصی به روش تنظیم به صفر معمول شود (به بند ۶-۴ مراجعه کنید).

۶-۳-۳ دما

به دلیل وابستگی خواص مواد به دما تغییرات دما بر ضریب کالیبراسیون دبی اثر می‌گذارد و ازاین‌رو جبران این تأثیرات ضروری است. اقدام جبرانی برای این اثر معمولاً با اندازه‌گیری دمای لوله، توسط ارسال‌گر صورت می‌گیرد.
بااین‌حال، تفاضل دمای زیاد بین لوله(ها)ی مرتعش و دمای محیط می‌تواند باعث بروز خطاهایی در جبران دمایی شود. استفاده از مواد عایق می‌تواند این اثرات را کاهش دهد. هم‌چنین، تغییرات دما می‌تواند در شرایط توقف جریان سیال، نوعی نابه‌جایی در خروجی دبی‌سنج ایجاد کند. این اثر را می‌توان با تنظیم‌به‌صفر (به بند ۶-۴ مراجعه کنید) در فشاری برابر فشار فرآیند حذف کرد.

۶-۳-۴ فشار

فشار ممکن است یک تاثیر جزیی بر اندازه‌گیری دبی جرمی داشته باشد و معمولا تعدیل ضروری نیست. با این وجود در برخی طرح‌ها و اندازه‌های دبی سنج‌ها، تغییرات فشار می‌تواند بر ضریب کالیبراسیون دبی اثر بگذارد و در این حالت تعدیل ضروری است. تغییرات فشار در جریان صفر می تواند رانه‌ای در خروجی دبی سنج باشد. این اثر می تواند با انجام تنظیم به صفر در فشار فرآیند حذف شود (به بند ۶-۴ مراجعه کنید).

۶-۳-۵ نصب

تنش‌های وارد شده به حسگر از لوله‌های اطراف می‌تواند تحت شرایط توقف سیال، نوعی نابه‌جایی در خروجی دبی‌سنج ایجاد کند که می‌تواند بر گسترهٔ عدم قطعیت در کل محدودهٔ اندازه‌گیری بعضی انواع و اندازه‌های دبی‌سنج تأثیر بگذارد. این نابه‌جایی بهتر است پس از نصب اولیه یا پس از هرگونه تغییرات متعاقب آن کنترل شود. هرگاه مقدار این نابه‌جایی غیرقابل‌قبول باشد، یک بار دیگر بهتر است عملیات تنظیم‌به‌صفر (به بند ۶-۴ مراجعه کنید) انجام شود.

۶-۴ تنظیم‌به‌صفر

نابه‌جایی در نقطهٔ صفر، نتیجه‌ی نوفهٔ مکانیکی است که از اثرات پدیدهٔ کوریولیس نشان داده شده به صورت دبی جرمی قابل تشخیص نخواهد بود. هنگامی می‌توان آن را تعیین کرد و اقداماتی جبرانی به ازای آن انجام داد که دبی برابر صفر باشد. دبی‌سنج‌های کوریولیس معمولا حین ساخت بالانس می‌شوند تا این اثرات به حداقل برسد. بااین‌حال، حتی با بالانس مناسب و نصب مناسب نیز مقداری نابه‌جایی پس‌ماند ناشی از نوفهٔ مکانیکی خارجی می‌تواند وجود داشته باشد. سازنده‌های دبی‌سنج‌های کوریولیس، روشی برای تعیین نابه‌جایی در نقطهٔ صفر و عملیات جبرانی ارائه می‌دهند.

در پایان نصب بعضی از انواع دبی‌سنج، ممکن است برای غلبه بر اثر پدیده‌های اشاره شده در بند ۶-۳ تنظیم به‌صفر ضروری باشد. برای اطلاع از این امر به بروشور فروشنده مراجعه کنید. برای کنترل یا تنظیم تحت شرایط دبیِ صفر، دبی‌سنج باید از سیال پر بوده و جریان سیال با بستن شیرهای بالادست و پایین‌دست، متوقف شده باشد. توصیه می‌شود که نخست صفرِ دبی‌سنج کنترل و در صورتی که نابه‌جایی از مشخصات اعلام شده توسط سازنده بیشتر بوده یا به هر دلیل برای کاربر غیرقابل‌قبول باشد، تنظیم شود. عملیات تنظیم‌به‌صفر بهتر است تحت شرایط فشار، دما، و چگالی فرآیند انجام شود. ضروری است که شرایط سیال در طول عملیات ثابت بماند و نیز هیچ‌گونه حباب یا رسوب سنگین وجود نداشته و سیال حرکت نکند.

میزان تنظیم‌به‌صفر می‌تواند با مشاهدهٔ خروجی دبی‌سنج در شرایط دبیِ صفر کنترل شود. با این‌حال، پیش از مشاهدهٔ خروجی، لازم است نقطهٔ بُرهٔ دبی جرمی پایین[1] در ارسال‌گر به صفر تنظیم، یا از خروجی‌ای که تنظیم بُرهٔ دبی جرمی پایین بر آن اثر نکرده است استفاده شود. در صورت اقتضا، ممکن است لازم شود حالت دوجهتی در دبی‌سنج فعال شود. توصیه می‌شود نقطهٔ صفر دبی‌سنج به صورت ادواری کنترل شود.

یادآوری- نقطهٔ بُرهٔ دبی جرمی پایین، نقطه‌ای است که در ارسال‌گر تنظیم می‌شود و در صورت افتِ دبی جرمی به کم‌تر از حد پیش‌تنظیم معینی، خروجی را برابر صفر نشان می‌دهد.

۶-۵ کالیبراسیون اندازه‌گیری دبی جرمی

هر دبی‌سنج کوریولیس بهتر است نسبت به استانداردی که تا حد استانداردهای مرجع ملی و بین‌المللی قابل ردیابی است کالیبره شود. ترجیح این است که آزمایشگاه‌های کالیبراسیون مورد مراجعه، بر اساس استاندارد ایران-ایزو-آی‌ای‌سی ۱۷۰۲۵ اعتباردهی شده باشند. برای دبی‌سنج بهتر است گواهی‌های کالیبراسیون تهیه شود. ضرایب کالیبراسیون که به این ترتیب تعیین می‌شود، بهتر است به طور پاک‌نشدنی روی پلاک مشخصات حسگر حک شود.

1- Low mass flow cut-off

کالیبراسیون دبی‌سنج‌های کوریولیس از راه مقایسهٔ خروجی دبی‌سنج با یک استاندارد مرجع قابل ردیابی که دارای عدم قطعیت بهتری، حداقل سه برابر نسبت به دبی‌سنج تحت آزمون است مقایسه شود.
چون دبی‌سنج کوریولیس نوعی اسباب سنجش دبی جرمی است، ترجیحاً کالیبراسیون بهتر است در مقایسه با یک مرجع جرم‌سنجی یا گرانش‌سنجی انجام شود. کالیبراسیون در مقایسه با استاندارد حجم‌سنجی در تلفیق با تعیین چگالی می‌تواند به‌ویژه در شرایطی مانند کالیبراسیون در محل، که روش‌های جرم‌سنجی یا گرانش‌سنجی ناممکن یا دسترس‌ناپذیر باشند به کار رود. خطاهای حاصل از این روش بهتر است با دقت ارزیابی شود. اگر از دبی‌سنج کوریولیس مرجع استفاده می‌شود، بهتر است مراقب بود تا هم‌شنود روی ندهد (به بند ۴-۲-۱۰ مراجعه کنید).
کالیبراسیون کارخانه‌ای معمولا با استفاده از آب انجام می‌شود. پیش از شروع کالیبراسیون، صفرِ دبی‌سنج باید بررسی شود (به بند ۶-۴ مراجعه کنید). دبی‌سنج کوریولیس ممکن است یک بار نیاز به تنظیم‌به‌صفر در روی دستگاه آزمون آزمایشگاهی و یک بار به هنگام نصب نیاز داشته باشد. جزئیات توصیه‌های کالیبراسیون، فواصل زمانی کالیبراسیون، شیوهٔ پیشنهادی، سطوح کالیبراسیون، و مثالی از منحنی کالیبراسیون در پیوست الف درج شده است.

۷ اندازه‌گیری چگالی

۷-۱ کلیات

دبی‌سنج‌های کوریولیس می‌توانند اندازه‌گیری چگالی را در حالت نصب سرراهی انجام دهند. در این بخش روش اندازه‌گیری چگالی و کالیبراسیون چگالی با استفاده از دبی‌سنج‌های کوریولیس شرح داده می‌شود. اندازه‌گیری‌های مبتنی بر چگالی مانند چگالی استاندارد و غلظت در پیوست پ مورد بحث قرار گرفته است.

یاد آوری– هنگام تدوین این استاندارد، امکانات اندازه‌گیری چگالی گازِ دبی‌سنج‌های کوریولیس معمولا محدود بوده است. ازاین‌رو استفاده از اندازه‌گیری چگالی گاز برای تبدیل دبی جرمی گاز به دبی واقعی حجمی گاز نیز دارای محدودیت‌هایی است. در مورد عدم قطعیت و اعتبار اندازه‌گیری حجم واقعی تحت شرایط جریان گاز بهتر است به توصیه‌های سازنده عمل کرد.

۷-۲ اصل حاکم بر کار

دبی‌سنج‌های کوریولیس معمولا در بسامد تشدید خود عمل می‌کنند. در یک سیستم تشدیدشده، رابطه‌ای میان این بسامد با سفتی و جرم در حال نوسان وجود دارد. بسامد تشدید (f_{rf}) دبی‌سنج کوریولیس و فرمول مرتبط با آن به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$f_{rf} = (1/2\pi)(C/m)^{½} \quad (۶)$$

هرگاه

$$m = m_{tb} + m_f \quad (7)$$

و

$$m_f = (\rho_f)\cdot(V_f) \quad (8)$$

که در آن:

f_{rf} بسامد (طبیعی) تشدید؛

C سفتی مکانیکی یا ثابت فنریت مجموعهٔ لولهٔ مرتعش؛

m جرم کل؛

m_{tb} جرم لوله(ها)ی مرتعش؛

m_f جرم سیال داخل لوله(ها)ی مرتعش؛

V_f حجم سیال داخل لوله(ها)ی مرتعش؛

ρ_f چگالی سیال؛

است.

سفتی مکانیکی یا ثابت فنریت مجموعهٔ لولهٔ مرتعش به طراحی دبی‌سنج و مدول الاستیسیتهٔ یانگ مواد لوله بستگی دارد.

می‌توان از فرمول‌های (۶)، (۷)، و (۸) برای یافتن مقدار چگالی سیال استفاده کرد:

$$\rho_f = \{C/[V_f(2\pi f_{rf})^2]\} - m_{tb}/m_f$$

که ساده می‌شود به

$$\rho_f = K_1 + K_2(f_{rf}) \quad (9)$$

که در آن

K_1 و K_2 ثابت‌ها (ضرایب) کالیبراسیون چگالی برای اندازه‌گیری چگالی تعیین شده حین فرآیند کالیبراسیون است (به بندهای ۷-۶-۲ و ۷-۶-۳ مراجعه کنید).

یادآوری: دما بر مقادیر K_1 و K_2 اثر می‌گذارد و معمولاً با مدار اندازه‌گیری موضعی دما که در دبی‌سنج تعبیه شده است، تغییرات پارامترها به ازای دما جبران می‌شود.

بسامد f_{rf} در فرمول ۹ با اندازه‌گیری مدت زمان نوسان لوله، T_{rf}، یا با شمارش چرخه‌ها در طول مدت پنجرهٔ (دریچهٔ) زمانی t_w:

$$f_{rf} = 1/T_{rf}$$

یا

$$f_{rf} = N_C/t_w \quad (۱۰)$$

که در آن:

Trf دورهٔ زمانی لولهٔ مرتعش؛

N_C تعداد چرخه‌ها؛

t_w پنجره[1] (دریچهٔ) زمانی؛
است.

۳-۷ چگالی ویژهٔ سیالات

با تقسیم چگالی سیال در شرایط فرآیند بر چگالی مرجع سیال در شرایط مرجع، وزن مخصوص، SG، به دست می‌آید:

$$SG = (\rho_f) (\rho_{ref}) \quad (11)$$

که در آن:
ρ_f چگالی سیال در شرایط اندازه‌گیری؛
ρ_{ref} چگالی سیال مرجع در شرایط مرجع (معمولاً آب خالص برای مایعات و هوا برای گازها)؛
است.

یادآوری: در ویرایش پیشین این استاندارد از اصطلاح چگالی نسبی به جای وزن مخصوص استفاده شده بود. برخی از کاربران نهایی و استانداردهای بین‌المللی از اصطلاح چگالی نسبی استفاده می‌کنند. ضروری است سازنده‌ها شرایط مرجعی را که از آن استفاده می‌کنند به‌روشنی بیان کنند تا از بروز ابهام برای کاربر اجتناب شود.

۴-۷ عدم قطعیت اندازه‌گیری چگالی

مانند عدم قطعیت اندازه‌گیری دبی جرمی (به بند ۶-۲ مراجعه کنید)، سازنده‌ها عدم قطعیت اندازه‌گیری چگالی ویژه را نیز که شامل تمام اثرات تلفیقی مانند خطی بودن، تکرارپذیری، و پسماند است در محاسبه دخالت می‌دهند. عدم قطعیت معمولاً به صورت قدر مطلق جرم بر واحد حجم (مثلاً g/cm^3 یا kg/m^3) بیان می‌شود.
عدم قطعیت معمولاً به ازای شرایط مرجعی بیان می‌شود که توسط سازنده مشخص شده است. این شرایط مرجع بهتر است شامل بازهٔ دما و فشار باشد. اطلاعات تکمیلی غیر از آنهایی که در شرایط مرجع داده می‌شود مانند مشخص کردن تأثیر فشار و دمای سیال بهتر است در مورد عدم قطعیت اندازه‌گیری چگالی ارائه شود.

۵-۷ عوامل مؤثر بر اندازه‌گیری چگالی

۱-۵-۷ دما

تغییرات دما به دلیل وابسته بودن خواص مواد به دما، بر عوامل کالیبراسیون دما تأثیر می‌گذارند و ازاین‌رو جبران این اثرات ضروری است. جبران این اثرات معمولاً با اندازه‌گیری دمای لوله، در ارسال‌گر انجام می‌شود. بااین‌حال، به دلیل وجود خطاهای جبران مانند تفاوت‌های اندازه‌گیری دما، این مورد به طور

1-window

کامل قابل رفع نیست. برای کمینه کردن این اثر و برآورده کردن الزامات اندازه‌گیری فرآیند مشتری، تنظیم کالیبراسیون چگالیِ دبی‌سنج در دمای محل کار ضرورت خواهد داشت. تفاضلِ زیاد دما میان لوله(های) ارتعاشی و دمای محیط می‌تواند خطاهای بیش‌تری در فرآیند جبران دما وارد کند. استفاده از مواد عایق می‌تواند این اثرات را به حداقل برساند.

یادآوری- در بعضی از کاربردها مانند سیالات برودتی[1]، اثرات گذرای دمایی ناشی از تغییرات پله‌ای در دمای فرآیند (شوک حرارتی) می‌تواند وجود داشته باشد که به طور لحظه‌ای بر اندازه‌گیری چگالی اثر می‌گذارد.

۷-۵-۲ فشار

طراحی‌های دبی‌سنج‌های کوریولیس به میزان قابل توجهی از سازنده‌ای به سازنده‌ی دیگر تغییر می‌کند. طراحی حسگر برای یک سازنده می‌تواند بسته به اندازه و کاربرد تغییر کند. بعضی از مدل‌ها یا اندازه‌های حسگرهای دبی‌سنجی می‌تواند در مقابل اثرات فشار از دیگر دبی‌سنج‌ها آسیب‌پذیرتر باشد. برای تنظیم ضرایب کالیبراسیون چگالی ناشی از اثرات فشار به توصیه‌های سازنده عمل کنید.

۷-۵-۳ چندفازی (دوفازی)

چگالی مخلوط‌های مایع در مایع، مخلوط‌های همگن جامد در مایع، یا مخلوط‌های مایع با نسبت حجمیِ اندک گاز می‌تواند با دبی‌سنج‌های کوریولیس اندازه‌گیری شود.

یادآوری- دبی‌سنج کوریولیس، وقتی به عنوان چگالی‌سنج به کار می‌رود تنها می‌توان چگالی کلی یا روی‌هم‌رفتهٔ سیال را اندازه‌گیری کند.

۷-۵-۴ اثرات جریان

حرکت سیال می‌تواند بر اندازه‌گیری چگالی تأثیر بگذارد. گسترهٔ سرعت سیال که چنین اثراتی را ایجاد می‌کند به اندازه و طراحی حسگر بستگی دارد. برای کاهش عدم قطعیت اندازه‌گیری چگالی، توصیه می‌شود کالیبراسیون چگالی، در شرایط کارگاهی فرآیند مورد نظر انجام شود. برخی از سازنده‌ها بر روی تجهیزات خود امکانات جبران خودکار اثرات سرعت سیال را در اندازه‌گیری چگالی را قرار می‌دهند.

۷-۵-۵ خوردگی و فرسایش

خوردگی و فرسایش می‌تواند بر جرم و سفتی لوله(ها)ی ارتعاشی اثر بگذارد. در مواردی که احتمال بروز این اثرات وجود دارد، بهتر است مراقبت لازم برای مشخص کردن مواد مناسب و انتخاب دبی‌سنج کوریولیس مناسب به عمل آید.

۷-۵-۶ پوشش‌ها

1- Cryogenic

رسوبات به جا مانده از سیالات فرآیند در جرم مؤثر لولهٔ ارتعاشی اثر گذاشته و سفتی آنها را تغییر دهد. در مواردی که احتمال بروز این اثرات وجود دارد، تمیزکاری مرتب و برنامه‌ریزی شدهٔ لوله‌ها بهتر است مد نظر قرار گیرد. درواقع چگالی اندازه‌گیری شده، چگالی مجموع سیال و رسوبات خواهد بود.

۷-۵-۷ نصب

معمولاً تنش‌های نصب بر اندازه‌گیری چگالی تأثیری ندارد. بااین‌حال، در برخی از انواع حسگرها، جهت جریان مهم است.

بسته به الزامات عملکردی کاربر، ممکن است کالیبراسیون از نظر چگالی دبی‌سنج کوریولیس در جهت سیال پیش‌بینی شده برای آن، انجام کالیبراسیون چگالی با استفاده از انتقال میدان مغناطیسی، یا تنظیم تک‌نقطه‌ای چگالی‌سنج متناسب با چگالی سیال فرآیند کاربر، انجام شود (به بند ۷-۶-۳ مراجعه کنید).

۷-۶ تنظیم و کالیبراسیون چگالی

۷-۶-۱ کلیات

دبی‌سنج‌های کوریولیس را می‌توان حین ساخت و/ یا به روش کالیبراسیون از نوع انتقال میدان یا تنظیم تک‌نقطه‌ای چگالی‌سنج متناسب با چگالی سیال مورد نظر، انجام داد.

تنها سیالات تمیز و تک‌فازی بهتر است برای کالیبراسیون‌های آزمایشگاهی به کار برده شود. لوله‌های مرتعش بهتر است تمیز و عاری از رسوب باشند. انحراف از این الزامات می‌تواند موجب بروز خطاهای اندازه‌گیری معنی‌داری شود.

۷-۶-۲ کالیبراسیون چگالی توسط سازنده

غالباً دبی‌سنج‌های کوریولیس توسط سازنده از نظر اندازه‌گیری چگالی با استفاده از هوا و آب به عنوان سیالات مرجع، کالیبراسیون می‌شوند. ضرایب کالیبراسیون چگالی برای این روش بهتر است توسط سازنده مشخص شود. مرجع‌های کالیبراسیون سازنده باید تا استانداردهای مرجع ملی یا بین‌المللی قابل ردیابی باشند. اکیداً توصیه می‌شود که آزمایشگاه‌های کالیبراسیون سازنده‌ها بر اساس استاندارد ایران ایزو آی‌ای‌سی ۱۷۰۲۵ یا استاندارد متناظر آن در کشورهای دیگر اعتباردهی شود.

الزامات عملکردی اندازه‌گیری کاربر و شرایط فرآیندی او می‌تواند ترتیبات خاصی از کالیبراسیون را با سیالات در دمایی بیشتر یا کمتر از دمای محیط الزام کند.

۷-۶-۳ تنظیم و کالیبراسیون چگالی در محل کار

الزامات عملکردی اندازه‌گیری و شرایط فرآیندی کاربر می‌تواند ترتیبات خاصی از کالیبراسیون کارکرد چگالی دبی‌سنج کوریولیس را به روش انتقال میدان یا تنظیم تک‌نقطه‌ای بر اساس چگالی سیال فرآیند کاربر الزام کند. تصدیق در محل کار می‌تواند برای تصدیق اثرات نصب یا اثرات دمای فرآیند انجام شود. کاربر بهتر است چگالی سیال داخل دبی‌سنج را با عدم قطعیت الزام‌شده بداند.

۸ اندازه‌گیری دبی حجمی در شرایط حین کار

۸-۱ کلیات

دبی‌سنج‌های کوریولیس، مستقیماً دبی‌جرمی و چگالی را در حین کار اندازه‌گیری می‌کنند. گرچه موارد متعددی وجود دارد که این مزیت‌های دبی‌سنج‌های کوریولیس می‌تواند بسیار مفید باشد ولی کارکرد مطلوب، اندازه‌گیری حجم در حین کار است. دبی‌سنج‌های کوریولیس را می‌توان به طور اثربخشی برای اندازه‌گیری دبی جرمی به کار برد.

۸-۲- کالیبراسیون حجم

چگالی به صورت جرم بر واحد حجم تعریف می‌شود؛ ازاین‌رو حجم را می‌توان با دانستن جرم و چگالی با استفاده از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$V=M/\rho \qquad (۱۲)$$

که در آن پارامترها به شرح زیر است:

V حجم کل در شرایط کاری؛

ρ چگالی در شرایط کاری؛

M جرم کل

فرمول (۱۲) را می‌توان مستقیماً در نرم‌افزار ارسال‌گر وارد کرد به شرط آن که دبی‌سنج کوریولیس از نوعی باشد که هر دو پارامتر جرم و چگالی را اندازه‌گیری کند (به بند ۶ و بند ۷ مراجعه کنید). در واقع، قسمت جرم معادلهٔ بالا به صورت تابعی از زمان (دبی جرمی) سنجیده می‌شود و ازاین‌رو، حجم محاسبه شده نیز تابعی از زمان خواهد بود:

$$q_{v}= q_{m}/\rho \qquad (۱۳)$$

که در آن پارامترها به شرح زیر است:

q_v دبی حجمی در شرایط کاری؛

Q_m دبی حجمی در شرایط کاری.

به‌این‌ترتیب، دبی‌سنج کوریولیس می‌تواند دبی حجمی را به عنوان سیگنال خروجی نشان دهد. برای محاسبهٔ حجم کل، از دبی حجمی محاسبه شده می‌توان نسبت به زمان انتگرال گرفت.

یادآوری- دبی حجمی محاسبه شده مبتنی بر اندازه‌گیری‌های دبی جرمی و چگالی دینامیک است که تحت شرایط کاری انجام می‌شود. ازاین‌رو دبی حجمی در این شکل، از نوع اندازه‌گیری دینامیکی تحت شرایط کاری، است و نه شرایط مرجع،

۸-۳ گاز به عنوان سیال فرآیند

تحت فشار پایین، اندازه‌گیری چگالی گاز به روش کوریولیس دارای عدم قطعیت بیش‌تری است زیرا چگالی گاز در این شرایط بسیار اندک است. ازاین‌رو، مطابق فرمول (۱۲) و (۱۳)، محاسبه‌ی دبی حجمی تحت شرایط جریان گاز نیز دارای عدم قطعیت بالایی است.

۸-۴ عدم قطعیت اندازه‌گیری حجم

بعضی سازنده‌های دبی‌سنج‌های کوریولیس خطای قابل انتظار دبی‌سنج‌های خود را در دبی‌سنجی حجمی منتشر می‌کنند. اما اگر این اطلاعات در اختیار نباشد، عدم قطعیت قابل انتظار برای اندازه‌گیری دبی حجمی را می‌توان با استفاده از فرمول (۱۴) محاسبه کرد:

$$U_{\mathrm{v}} = \{(U_{\mathrm{m}})^2 + (U_{\rho})^2\}^{1/2} \qquad (۱۴)$$

که در آن پارامترها به شرح زیر است:

U_{v} عدم قطعیت اندازه‌گیری دبی حجمی؛

U_{m} عدم قطعیت اندازه‌گیری دبی جرمی (به بند ۶-۲ مراجعه کنید)؛

U_{ρ} عدم قطعیت اندازه‌گیری چگالی (به بند ۷-۴ مراجعه کنید)؛

تمام مقادیر عدم قطعیت بالا برحسب درصد رقم خوانده‌شده بیان شده‌اند.

۸-۵ اثرات ویژه

۸-۵-۱ کلیات

دبی‌سنج‌های کوریولویس تنها می‌توانند مقدار حجم را محاسبه کنند و ازاین‌رو، قابلیت اعتماد به آنها تنها می‌تواند در حد داده‌های وارد شده در فرمول حجم باشد. بر این اساس، هرگونه تغییرات پارامترهای دبی و چگالی که می‌توانند بر قابلیت اعتماد اندازه‌گیری دبی جرمی و چگالی اثر بگذارند، دارای اثر ترکیبی بر روی عدم قطعیت اندازه‌گیری حجم محاسبه شده هستند. برای اطلاع از اثرات ویژهٔ تغییرپذیری شرایط فرآیند بر روی اندازه‌گیری دبی جرمی و چگالی، به بندهای ۶ و ۷ مراجعه کنید.

۸-۵-۲ اثر لولهٔ خالی

پاسخ دبی‌سنج کوریولیس در حال اندازه‌گیری دبی سیال به خالی شدن لوله‌ها یا جایگزین شدن ناگهانی مایع با گاز به صورت افت خروجی دبی‌سنج، نزدیک به صفر است. اگر چنین اتفاقی روی دهد و درعین‌حال دبیِ اندکی خوانده شود، محاسبهٔ حجم مایع مطابق فرمول (۱۲) به طور نادرستی بالا خوانده خواهد شد. می‌توان با استفاده از تنظیم برّه‌ی سیگنال چگالی کم، که برای خاموش کردن دبی‌سنجی غیر

از مواردی که لوله‌ها از مایع پر باشد، این مورد را حل کرد. برای یافتن راه حل‌های دیگر می‌توان به سازنده‌ها مراجعه کرد.

۸-۵-۳ سیالات چندفازی

در شرایطی که سیال فرآیند چندفازی باشد، حجم را نمی‌توان با قابلیت اطمینان مناسبی اندازه‌گیری کرد.

۸-۶ کالیبراسیون در کارخانه

۸-۶-۱ دبی جرمی و چگالی

هنگام مقایسهٔ خروجی حجم دبی‌سنج کوریولیس با استاندارد حجم مرجعی، نمی‌توان تمایزی میان عدم قطعیت اندازه‌گیری دبی جرمی دبی‌سنج و عدم قطعیت اندازه‌گیری دبی جرمی چگالی قائل شد. بنابراین برای کالیبراسیون باید دبی‌سنج‌های کوریولیس همواره به عنوان دستگاه اندازه‌گیری دبی جرمی و چگالی مورد استفاده قرار گیرد.

این دو پارامتر بهتر است نخست مطابق با توصیه‌های بند ۶ و بند ۷، پیش از آن که از دبی برای اندازه‌گیری حجم استفاده شود مورد کالیبراسیون قرار گیرد. هرگاه دبی‌سنج به ازای سنجش دبی جرمی و چگالی کالیبراسیون شده باشد، با استفاده از فرمول (۱۳) می‌توان به طور نظری، عدم قطعیت اندازه‌گیری حجم را پیش‌بینی کرد.

۸-۷ بررسی حجم

مقدار قابل انتظار عدم قطعیت اندازه‌گیری حجم را می‌توان با انجام نوعی آزمون حجم‌سنجی در مقایسه با استاندارد معلوم حجمی کنترل کرد. علاوه بر گواهی کالیبراسیون استاندارد، سازنده باید بر حسب درخواست، قادر به فراهم کردن داده‌های آزمون نشان‌دهندهٔ دبی حجمی و خطاهای حجم‌سنجی متناظر با آنها باشد. این خطاها را می‌توان با استفاده از داده‌های کالیبراسیون دبی جرمی و کالیبراسیون دقیق چگالی سیال محاسبه کرد. حجم را می‌توان با کنترل از طریق آزمون میدانی که باید با استفاده از دبی‌سنج کوریولیس در وضعیت نصب و حین کار و استفاده از سیال فرآیند انجام شود تعیین کرد.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

فنون کالیبراسیون

الف-۱ مقدمه

دبی‌سنج‌های کوریولیس به روشی مشابه سایر دبی‌سنج‌ها کالیبراسیون می‌شود. کالیبراسیون عبارت از مقایسهٔ خروجی دبی‌سنجِ تحت آزمون با استاندارد مناسب. دبی‌سنج‌های کوریولیس موجود دارای خروجی سیگنال‌های آنالوگ، فرکانس، و دیجیتال هستند. دو سطح کالیبراسیون وجود دارد که به طور مشروح در پیوست الف-۲ به شرح زیر توضیح داده شده است:

۱- نوع ۱: کالیبراسیون استاندارد – که جزئیات آن توسط سازنده مشخص می‌شود؛

۲- نوع ۲: کالیبراسیون ویژه – که جزئیات آن توسط کاربر مشخص می‌شود.

دبی‌سنج‌های کوریولیس باید با استفاده از فنون جرم مرجع، کالیبراسیون شوند. بااین‌حال، می‌توان از روش‌های حجم‌سنجی نیز استفاده کرد، به شرط آن که کل عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری دبی جرمی شامل عدم قطعیت هر دو اندازه‌گیری حجم و اندازه‌گیری چگالی باشد. محاسبهٔ عدم قطعیت باید مطابق با ایزو ISO 5168 انجام شود. دبی‌سنج‌های کوریولویس، جرم را اندازه می‌گیرند؛ ازاین‌رو، مقادیر سیال اندازه‌گیری شده حین کالیبراسیون گرانشی باید نهایتاً بر حسب واحدهای جرم بیان و به صورت شناوری تصحیح شوند.

الف-۲ روش‌های کالیبراسیون

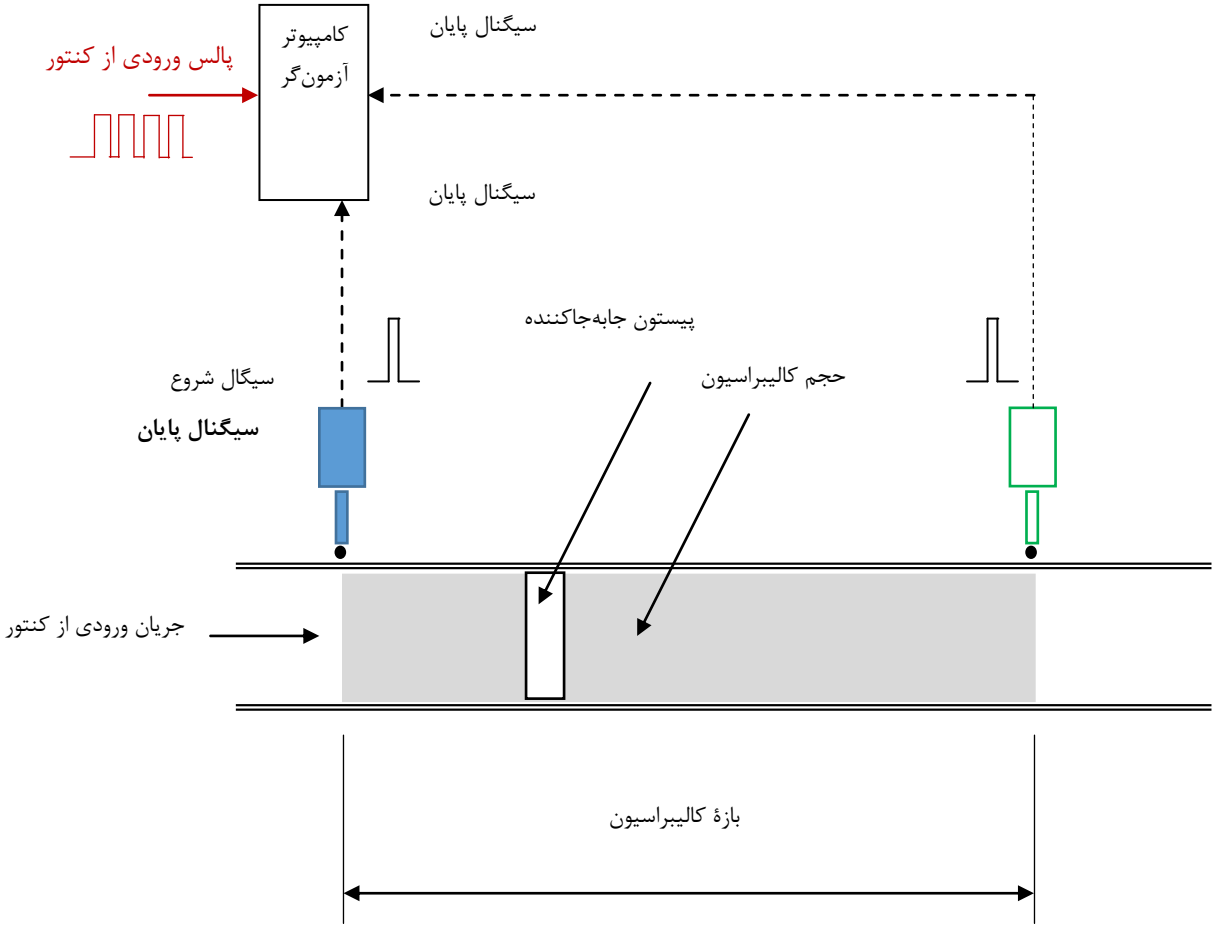
الف-۲-۱ ملاحظات عمومی

توصیه می‌شود هنگام کالیبراسیون دبی‌سنج‌های کوریولیس، داده‌های خروجی(ها)ی ارسال‌گر که مستقل از هر گونه تنظیم میراسازی خروجی است جمع‌آوری شود. باید برای تعیین عدم قطعیت قابل قبول، داده‌های کافی حین آزمون جمع‌آوری شود.

سه روش عمده برای کالیبراسیون دبی‌سنج‌ها وجود دارد: گرانشی، حجم‌سنجی، و با استفاده از دبی‌سنج مادر. در هر مورد، می‌توان از دو تکنیک عملیاتی استفاده کرد.

۱) روشن/خاموش دینامیکی (در حال کار[1]) – جمع‌آوری داده‌ها ضمن این که دبی سیال پایدار نگه داشته شده است شروع و قطع می‌شود. زمان پردازش داده‌ها توسط ارسال‌گر، می‌تواند باعث تأخیر در خروجی شود. این تأخیر را باید هنگام استفاده از روش دینامیکی که در آن مقادیر اندکی از مایع، مانند آزمون‌گرهای حجمی کوچک[2] و تجهیزات آزمون مبتنی بر برون‌کش[3] اندازه‌گیری می‌شود در نظر گرفت (شکل ۱).

1- Flying Start/Stop
2- Small/Compact Volume Prover (SVP)
3- Diverter based test facility



شکل الف-۱ سازوکار اندازه‌گیری دقیق دبی با استفاده از آزمون‌گر حجم

۲) روشن/خاموش استاتیکی – جمع‌آوری داده‌ها تحت شرایط دبی صفر شروع و قطع می‌شود. در این حالت، زمان کار بهتر است نسبتاً طولانی انتخاب شود تا خطاهای ناشی از تغییرات دبی در شروع و پایان کار اندازه‌گیری، قابل محاسبه باشد. زمان پردازش سیگنال، ارسال‌گر می‌تواند منجر به تأخیر در پاسخ خروجی شود. ازاین‌رو، حتی پس از بسته شدن شیر و توقف جریان، مدار الکترونیکی دبی‌سنج هم‌چنان به شمردن و نشان دادن جریان سیال ادامه می‌دهد. خطاهای ناشی از این گونه خروجی را می‌توان با ایجاد تأخیر کوتاه‌مدتی در سیگنالِ بستن دریچه روی تجمع دبی جرمی پس از توقف جریان سیال، کاهش داد.

در این نوع دبی‌سنج، دو حسگر به فاصلهٔ معین روی لوله‌ی دستگاه قرار دارد. در داخل لولهٔ دبی‌سنج یک پیستون با یک سوپاپ یا ساچمه‌ای در داخل آن قرار دارد که وقتی پیستون به یک طرف حرکت می‌کند باز و وقتی به جهت مقابل حرکت می‌کند بسته می‌شود. پیستون وقتی در حالت بسته حرکت می‌کند، مقدار معینی از مایع را جابه‌جا می‌کند و با قرار دادن مقدار مایع جابه‌جا شده و تفاضل زمان عبور از مقابل حسگرها دبی محاسبه می‌شود.

الف-۲-۲ روش‌های گرانشی

سیال آزمون باید در یک ظرف توزین جمع شود. جرم ظرف باید پیش از شروع آزمون و پس از پایان آن ثبت شود. تفاضل میان این دو مقدار، برابر جرم مایع جمع‌آوری شده در حالتی است که گاز یا هوا جابه‌جا شده باشد و جرم سیال جمع‌آوری شده باید به ازای شناوری، تصحیح شود. توصیه می‌شود مراقب بود تا از تبخیر مایعات و تقطیر گازها در روی دیوارهٔ ظرف اجتناب شود. کالیبراسیون با توجه به مقایسهٔ شمارگر ارسال‌گر با جرم جمع‌آوری شده انجام می‌شود.

الف-۲-۳ حجم‌سنجی

دبی‌سنج کوریولیس را می‌توان با استفاده از روش حجم‌سنجی متداول مانند جمع‌آوری سیال آزمون در یک ظرف استاندارد یا استفاده از آزمون‌گر حجمی کالیبراسیون کرد. اما مقدار سیال جمع‌آوری شده (حجم) بهتر است با ضرب کردن آن به چگالی سیال محاسبه شود. مقدار چگالی را می‌توان به صورت دینامیکی با استفاده از یک چگالی‌سنج برخط یا، هرگاه چگالی ثابت باشد، با روش‌های نمونه‌گیری به دست آورد. اگر خواص سیال معلوم باشد می‌توان چگالی را با اندازه‌گیری دما و فشار داخل ظرف، تعیین کرد.

الف-۲-۴ کنتور اصلی (کنتور مرجع)

کنتور مادر را نیز با استفاده از روش‌های متداول می‌توان برای کالیبراسیون دبی‌سنج کوریولیس به کار برد. عدم قطعیت اندازه‌گیری کنتور مادر باید مستند شود. اگر کنتور مادر از نوع حجم‌سنجی است، مقدار نشان‌داد آن باید با استفاده از چگالی سیال به جرم تبدیل شود. مقدار چگالی را می‌توان به صورت دینامیکی با استفاده از یک چگالی‌سنج برخط یا، هرگاه چگالی ثابت باشد، با روش‌های نمونه‌گیری به دست آورد. اگر خواص سیال معلوم باشد می‌توان چگالی را با اندازه‌گیری دما و فشار در حین آزمون، تعیین کرد.

الف-۲-۵ فواصل زمانی کالیبراسیون

دبی‌سنج کوریولیس در صورتی که درست نصب شود و برای اندازه‌گیری سیالات تمیز و غیرساینده به کار رود، نباید دچار رانش[1] اندازه‌گیری شود. فواصل زمانی دبی‌سنجی بر حسب اهمیت و ماهیت شرایط کاری تعیین می‌شود. ممکن است هم‌زمان با جمع‌آوری داده‌ها، این فواصل زمانی را کم یا زیاد کرد. برای کاربردهایی که با اندازه‌گیری دبی برای محاسبه‌ی مالیات[2] یا به قصد فروش[3] سروکار دارند، فواصل زمانی می‌تواند از طریق مقررات و ضوابط موجود یا با توافق میان طرف‌های ذی‌نفع تعیین شود.

1- Drift
2- Fiscal transfer
3- Custody transfer

اگر شرایط نصب دبی‌سنج، مانند زمانی که تغییراتی در لوله‌کشی در نزدیکی دبی‌سنج پیش می‌آید، تغییر کند مقدار نابه‌جایی صفر دبی‌سنج باید معاینه و تصدیق شود. هرگاه خروجی دبی‌سنج در شرایط دبی صفر بیشتر از پایداری تنظیم به صفر مشخص شده توسط سازنده باشد، نیاز به عملیات تنظیم به صفر وجود دارد (به بند ۴-۲-۹ مراجعه کنید).

الف-۳ روش‌های کالیبراسیون

به‌کارگیری همهٔ روش‌های کالیبراسیون دبی‌سنج‌ها باید این اطمینان را ایجاد کند که:

الف) دبی‌سنج مطابق توصیه‌های سازنده نصب شده است؛

ب) پیش و پس از آزمون، برای اجتناب از هرگونه اثرات وجود هوا، دبی‌سنج تحت آزمون، و لوله‌های متصل به آن کاملاً از مایع آزمون پر شده باشد؛

پ) پیش از کالیبراسیون، مراحل گرم کردن و آماده‌سازی هیدرولیکی دبی‌سنج انجام می‌شود؛

ت) همهٔ داده‌های موجود در ارسال‌گر، پیش از شروع آزمون در جایی کپی و ذخیره می‌شود؛

ث) دبی‌های آزمون برای در بر گرفتن گسترهٔ دبی عملیاتیِ دبی‌سنج انتخاب می‌شود.

الف-۴ شرایط کالیبراسیون

الف-۴-۱ تنظیم صفر

نخست بهتر است در سکوی آزمون، وضعیت دبیِ صفر ایجاد (و کنترل) شود. اگر خروجی دبی‌سنج در وضعیتِ دبی صفر، در محدودهٔ پایداری تنظیم به صفر تعیین شده توسط سازنده باشد، تنظیم به صفر لازم نیست. اما اگر خروجی در وضعیت دبی صفر، دارای مقدار قابل قبولی نباشد، باید تنظیم به صفر طبق روش توصیه شده توسط سازنده، تنها در شروع کالیبراسیون و نه در بین دفعاتِ متوالیِ راه‌اندازی انجام شود. باید شرایط سیال به عنوان بخشی از تنظیم به صفر ثبت شود. اما اگر ملاحظه شود که خروجی، تحت شرایط دبی صفر، قابل قبول نیست، تنظیم به صفری باید مطابق روش‌های ویژهٔ تعیین شده توسط سازنده، تنها هنگام شروع به کالیبراسیون و نه در میان عملیات راه‌اندازی انجام شود.

الف-۴-۲ پایداری دبی

دبی باید در محدودهٔ ۵%± دبی انتخابی برای طول مدت آزمون کالیبراسیون در آن دبی پایدار نگه داشته شود.

الف-۴-۳ دما و فشار

تغییرات دما و فشار سیال بهتر است حین فرآیند کالیبراسیون به حداقل برسد. دما باید در هر بار عملیات راه‌اندازی، در محدودهٔ ۱° C و در کل مدت کالیبراسیون در محدودهٔ ۵° C ثابت نگه داشته شود. فشار سیال داخل تجهیزات آزمون باید در طول کالیبراسیون تا حد ممکن بالا باشد تا از تبخیر سطحی یا حباب‌زایی در داخل دبی‌سنج و/ یا در مجاورت دبی‌سنج جلوگیری شود.

الف-۴-۴ چگالی و گرانروی

بسته به طراحی دبی‌سنج، تغییرات چگالی و گرانروی می‌تواند بر عملکرد دستگاه تأثیر بگذارد. در این موارد، خواص سیال آزمون مورد استفاده باید عین یا مشابه سیال فرآیندی باشد که دبی‌سنج برای اندازه‌گیری آن طراحی شده است.

الف-۴-۵

هنگام کالیبراسیون، توصیه‌های بند ۴-۲ نیز قابل اعمال است.

الف-۵ اطلاعات گواهی کالیبراسیون

داده‌های زیر مثال‌هایی از داده‌هایی هستند که باید در گواهی کالیبراسیون دبی‌سنج درج شوند:

۱- شمارهٔ اختصاصی منحصربه‌فرد، شمارهٔ صفحات، و تعداد کل صفحات در تمام صفحات گواهی؛

۲- تاریخ صدور گواهی و تاریخ انجام آزمون، هرگاه این دو با هم متفاوت باشند؛

۳- هویت فرد یا سازمانی که آزمون را انجام می‌دهد؛

۴- اسم و آدرس آزمایشگاه کالیبراسیون؛

۵- داده‌های سیال آزمون مانند نام محصول یا چگالی، دما، و فشار؛

۶- شمارهٔ شناسایی منحصربه‌فرد دبی‌سنجِ تحت آزمون؛

۷- قابلیت ردیابی تجهیزات و روش‌های آزمون؛

۸- بیانیهٔ عدم قطعیت و روش محاسبهٔ آن؛

۹- شرایط محیطی مرتبط:

الف- داده‌ها و نتایج مرتبط آزمون کالیبراسیون شامل خروجی دبی‌سنج در شرایط دبی صفر در شروع و پایان کالیبراسیون؛

ب- داده‌های کالیبراسیون بهتر است به ترتیب زمانی درج شده باشند؛

پ- داده‌های پیکربندی ارسال‌گر که آزمون در آن شرایط انجام شده است؛

ت- امضای مجاز.

پیوست ب
(اطلاعاتی)
رهنمودهای ایمنی برای انتخاب دبی‌سنج‌های کوریولیس

ب-۱ ملاحظات عمومی

هنگامی که از دبی‌سنج کوریولیس در کاربردهای ویژه برای اندازه‌گیری مواد سمی یا آتش‌گیر استفاده می‌شود، باید توجه شود که پیش از کاربرد، باید تصدیق شود که در مدت عمر قابل پیش‌بینی برای دبی‌سنج می‌توان آن را در فشار آزمون و تحت شرایط واقعی فرآیند نگه داشت.
معمولاً تصور می‌شود چون دبی‌سنج‌های کوریولیس دارای لوله‌های ارتعاشی جدارنازک هستند از نظر وامانی خستگی در لوله‌ها آسیب‌پذیرند. این تصور نادرست باعث شده است تا هنگام انتخاب دبی‌سنج‌ها، مشخصات دست‌بالا گرفته شده یا حتی به طور کامل از فهرست انتخاب کنار گذاشته شوند.
تجربهٔ سازنده‌ها نشان می‌دهد که اگر این دبی‌سنج‌ها در شرایط کاری عادی به کار گرفته شوند، تنش ایجاد شده در دبی‌سنج کوریولیس بسیار کوچک‌تر از آن است که موجب خستگی شود.
هنگامی که دبی‌سنج‌های کوریولیس برای کار معینی مشخص شده باشند، باید به موارد ویژهٔ زیر دقت کرد:

ب-۱-۱ مواد

باید دقت شود تا موادی که با سیال فرآیند تحت اندازه‌گیری تماس دارند، با آن مواد و نیز شوینده‌های مورد استفاده سازگار است. ناسازگاری مواد، رایج‌ترین علت شکستن لولهٔ ارتعاشی دبی‌سنج است و می‌توان هنگام انتخاب حسگر از آن اجتناب کرد. رهنمودهای استاندارد مواد الزاماً بر لوله‌های جدارنازک ارتعاشی قابل اعمال نیستند. توصیه‌های سازنده‌ها و نیز رهنمودهای استاندارد مواد باید مورد توجه قرار گیرد.

ب-۱-۲ سرعت

باید توجه کافی به عمل آید تا اطمینان حاصل شود که هیچ‌گونه فرسایشی در لوله(ها)ی ارتعاشی هنگام اندازه‌گیری دبی محصولات ساینده روی نمی‌دهد. کاهش ضخامت لوله‌های اندازه‌گیری به دلیل سایش می‌تواند به منجر به ترکیدن آنها شود. سازنده‌ها باید قادر به تعیین حداکثر سرعت سیالی باشند که به ازای اندازهٔ معینی از حسگر باعث فرسایش نمی‌شود.

ب-۱-۳ فشار اسمی لوله

به منظور تضمین انطباق با فشار اسمی لوله، سازنده باید اطلاعات زیر را ارائه دهد:

الف) آیین‌نامهٔ ASME که لوله‌ها بر اساس آن طراحی شده‌اند که معمولاً ANSI/ASME B31.3 (یا استانداردهای رسمی معادل مانند AD-Merkblätter, Druckbehälterverordnung آلمان یا KHK ژاپن)؛
ب) محاسبات طراحی ضخامت جدار و فشار لوله طبق آیین‌نامه‌های ذکر شده در (الف)؛

ب-۱-۴ فشار اسمی فلنج

در این مورد نیز آیین‌نامه‌های طراحی ASME باید برای کنترل مناسب بودن اتصالات حسگر دبی‌سنج کوریولیس در اختیار باشد.

ب-۱-۵ آزمون فشار

باید مدارکی از سوی سازنده برای تأیید این که حسگر پس از مونتاژ نهایی، فشار آزمون لازم را تحمل کرده است در اختیار باشد.
هرگاه معیار بالا بتواند به ازای شرایط کاری معین برآورده شود، آزمون غلاف ثانویه لازم نخواهد بود.

ب-۲ غلاف ثانویه

ب-۲-۱ استفادهٔ به‌جا[1]

ازآنجاکه اصول گفته شده در بندهای ب-۱-۱ تا ب-۱-۵ به عنوان رهنمودهای ایمنی برای انتخاب دبی‌سنج به کار می‌رود، ممکن است وضعیت‌هایی پیش آید که در آن امکان برآورده شدن تمام معیارهای ذکر شده در این بندها وجود نداشته باشد. مثلاً اگر هنوز به دلیل نداشتن اطلاعات کافی از ماهیت سیال آزمونی که قرار است از دبی‌سنج بگذرد، عدم اطمینانی در بارهٔ سازگاری مواد به جا مانده باشد، ممکن است استفاده از غلاف ثانویه الزامی باشد. در این صورت، موارد زیر باید دربارهٔ انسجام غلاف ثانویهٔ مورد استفاده رعایت شود.

ب-۲-۲ انسجام طراحی

سازنده باید مدارکی را که اثبات می‌کند، غلاف محافظ به طورخاص برای این منظور تعیین شده و مطابق با استانداردهای به رسمیت شناخته شده طراحی شده است ارائه دهد.

ب-۲-۳ آزمون فشار

علاوه بر ارائهٔ محاسبات طراحیِ برای اثبات مناسب بودن غلاف محافظ، ممکن است لازم باشد آزمون‌های فشاری بر روی غلاف محافظ کاملاً مونتاژ شده انجام شود. چنین آزمون‌هایی باید با استفاده از اتصالات تخلیهٔ مناسب بر روی قاب غلاف انجام شود. آزمون‌ها باید مطابق روش‌های استاندارد انجام و باید مستندات و گواهی‌های لازم برای اعلام نتایج آن ارائه شود.

1-Appropriate use

ب-۲-۴ انتخاب فشار اسمی مناسب برای غلاف ثانویه

رهنمودهای عمومی برای مشخص کردن فشار اسمی محفظه‌های غلاف ثانویه به شرح زیر است:

الف- فشار حداکثر پیوستهٔ غلاف > فشارشکن فرآیند؛

ب- فشار ترکیدن غلاف > فشار طراحی تأسیسات فرآیند؛

همهٔ مقادیر فشار اسمی غلاف ثانویه (الزامات مربوطه) باید با آیین‌نامه‌ها و مقررات بین‌المللی یا ملی منطبق باشد.

غلاف ثانویهٔ دبی‌سنج‌های کوریولیس تنها هنگام بروز شرایط غیرعادی (مانند ترکیدن لولهٔ ارتعاشی) تحت فشار قرار می‌گیرد که برای شرایط اضطرار، مدت زمان کوتاه، و برای یک بار در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس، ممکن است بتوان مشخصات فشاری پایین‌تری را نسبت به سایر اجزای تحت فشار سیستم لوله‌کشی برای محفظهٔ غلاف دبی‌سنج پذیرفت. این گونه سهل‌گیری باید تنها در چارچوب آیین‌نامه‌های طراحی و/ یا آزمون صورت گیرد.

در مواردی که فشار طراحی فرآیند از فشار طراحی غلاف ثانویه بیشتر باشد، ایمنی اتصالات دبی‌سنج کوریولیس را می‌توان با استفاده از یک دیسک پُکنده یا شیر فشارشکن افزایش داد.

پیوست پ

(اطلاعاتی)

ملاحظاتی برای سامانه‌های مایع چندجزئی

پ-۱ کلیات

اندازه‌گیری چگالی که توسط دبی‌سنج کوریولیس انجام می‌شود، تابعی از چگالی مرکب سیال فرآیند داخل لوله(ها) است. اگر این سیال دو جزء داشته و چگالی هر کدام معلوم باشد، کسر جرمی یا حجمی هر کدام از اجزا را می‌تواند تعیین کرد.

با اندازه‌گیری ترکیب (مستقل) دبی جرمی و چگالی (یا غلظت)، دبی جرمی خالص هر یک از اجزای مخلوط دوجزئی را نیز می‌توان محاسبه کرد. اندازه‌گیری دبی خالص محدود به سامانهٔ دوجزئی مانند روغن و آب است و در موارد متعددی به کار می‌رود. مثلاً دبی دوغاب‌های جامد در مایع یا شهد قند و سامانه‌های دوجزئی مانند آنها را می‌توان با دبی‌سنج کوریولیس اندازه‌گیری کرد.

به لحاظ نظری، دبی‌سنج کوریولیس، میانگین چگالی سیالات چندجزئی و ازجمله سامانه‌های دوجزئی را اندازه‌گیری می‌کند. این اصل معمولاً در مورد دوغاب‌ها (ذرات جامدی که توسط مایع حمل می‌شود) صادق است. اما اندازه‌گیری فاز گازی در داخل جریان مایع یا، به‌عکس، فاز مایع در داخل جریان گاز می‌تواند به دلیل اثرات ساختاری اجزای داخلی حسگر دبی‌سنج دشوار باشد. در صورت اندازه‌گیری دبی جریان دوفازی، با سازنده مشورت شود.

پ-۲ مخلوط‌های اختلاط‌ناپذیر

پ-۲-۱ کلیات

مایعات اختلاط‌ناپذیر، مایعاتی هستند که دو جزء مایع دارند که با هم مخلوط نمی‌شوند. حجم کل برابر مجموع حجم‌های هر یک از مایعات تحت شرایط اندازه‌گیری است.

هرگاه دو جزء با هم مخلوط نشوند، چه هر دو از نوع مایعات اختلاط‌ناپذیر و چه مخلوط جامد در مایع باشند، رابطهٔ میان چگالی و غلظت را تنها می‌توان با فرمول‌های (پ-۱) و (پ-۲) که در پیوست پ-۲-۲ داده شده است تعیین کرد. مثال‌هایی از این نوع مخلوط‌ها عبارت‌اند از نشاسته و آب، شن و آب، و روغن و آب.

پ-۲-۲ کسر جرمی

در فرمول‌های (پ-۱) و (پ-۲) به‌ترتیب رابطهٔ میان جزء A و جزء B، به عنوان کسر جرمی w که بر حسب درصد بیان می‌شود شرح داده شده است.

$$w_A = 100\ \{[\rho_A(\rho_{ms} - \rho_B)]/[\ \rho_{ms}(\rho_A - \rho_B)]\} \qquad (پ-۱)$$

$$w_A = 100\ \{[\rho_B(\rho_A - \rho_{ms})]/[\ \rho_{ms}(\rho_A - \rho_B)]\} \qquad (پ-۲)$$

که در آن

w_A و w_B کسر جرمی جزء A و جزء B نسبت به مخلوط؛

ρ_A و ρ_B چگالی جزء A و چگالی جزء B؛

ρ_{ms} چگالی اندازه‌گیری شدهٔ مخلوط.

پ-۲-۳ کسر حجمی

در فرمول‌های (پ-۳) و (پ-۴) به‌ترتیب رابطهٔ میان جزء A و جزء B، به عنوان کسر حجمی φ که بر حسب درصد بیان می‌شود شرح داده شده است.

$$\varphi_A = 100\ (\rho_{ms} - \rho_B) / (\rho_A - \rho_B) \qquad (پ-۳)$$

$$\varphi_A = 100\ (\rho_A - \rho_{ms}) / (\rho_A - \rho_B) \qquad (پ-۴)$$

که در آن

φ_A و φ_B کسر حجمی جزء A و جزء B نسبت به مخلوط؛

ρ_A، ρ_B ، و ρ_{ms} در فرمول‌های (پ-۱) و (پ-۲) تعریف شده‌اند.

کسر حجمی چیزی نیست جز تلفیق و بازنویسی فرمول‌های (پ-۱) و (پ-۲).

پ-۲-۴ دبی جرمی خالص

با تلفیق اندازه‌گیری‌های کسر جرمی و دبی جرمی کل، دبی جرمی خالص هر یک از دو جزء را می‌توان به شرح زیر محاسبه کرد:

$$q_{mA} = (q_{mT})(w_A) / 100 \qquad (پ-۵)$$

$$q_{mB} = (q_{mT})(w_B) / 100 \qquad (پ-۶)$$

که در آن:

q_{mT} دبی جرمی کل مخلوط؛

q_{mA} و q_{mB} به‌ترتیب دبی جرمی خالص اجزای A و B؛

w_A و w_B در فرمول‌های (پ-۱) و (پ-۲) تعریف شده‌اند.

پ-۲-۵ دبی حجمی خالص

با تلفیق اندازه‌گیری‌های کسر حجمی و دبی جرمی کل، دبی حجمی خالص هر یک از اجزا را می‌توان محاسبه کرد.

$$q_{vA} = (q_{vT})(\varphi_A)/ 10 \qquad (پ-۷)$$

$$q_{vB} = (q_{vT})(\varphi_B)/ 100 \qquad (پ-۸)$$

که در آن:

q_{vT} دبی حجمی خالص کل؛

q_{vA} و q_{vA} دبی حجمی خالص اجزای A و B؛

φ_A و φ_B در فرمول‌های (پ-۳) و (پ-۴) تعریف شده‌اند.

پ-۳ ملاحظات ویژه برای دما و فشار

فرمول پیشین و بحث‌های مرتبط (و نیز آنچه در پیوست ت آمده است) بر مبنای دما و فشار ثابت تدوین شده‌اند. در هر مخلوطی، دما و فشار بر چگالی هر یک از اجزا به طور متفاوت تأثیر می‌گذارند. ازاین‌رو، نیاز به انجام تصحیحاتی وجود دارد. معمولاً فشار تأثیری جزئی بر روی چگالی مایعات دارد و هرگاه فشار تقریباً ثابت باشد می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد. تأثیر هرگونه مولفه را می‌توان با انجام کالیبراسیون به عدد تبدیل کرد. دما تأثیر بیشتری بر چگالی دارد و تصحیح برخط آن ضروری است. در دبی‌سنج‌های کوریولیس، امکان اندازه‌گیری برای تصحیح حسگر به ازای خواص مواد، پیش‌بینی شده است. این کار با اندازه‌گیری دما و اعمال تصحیحات لازم برای خواص مواد در ارسال‌گر صورت می‌گیرد؛ اما در مواردی که عدم قطعیت پایینی مورد نیاز است، ممکن است استفاده از اندازه‌گیری دما به طور جداگانه ضرورت پیدا کند.

پیوست ت

(اطلاعاتی)

مایعات اختلاط‌پذیر حاوی اجزای بدون برهم‌کنش از نظر شیمیایی

ت-۱ مایعات اختلاط‌پذیر حاوی اجزای بدون برهم‌کنش از نظر شیمیایی

مایعات اختلاط‌پذیر از دو جزء تشکیل می‌شوند که کاملاً در هم مخلوط یا حل می‌شوند و پس از حل یا مخلوط شدن، حجم کل مایع می‌تواند از مجموع حجم‌های دو ماده به طور جداگانه تحت شرایط اندازه‌گیری، متفاوت باشد.

هرگاه دو مایع مانند الکل و آب، کاملاً مخلوط‌پذیر باشند کسر جرمی (هر یک از اجزای مایع) نسبت به چگالی، معموماً از جدول مقادیر خوانده می‌شود. به دست آوردن فرمولی عمومی که به ازای تمامی مایعات اختلاط‌پذیر معتبر باشد، به دلیل رابطهٔ غیرخطی میان کسر جرمی و چگالی، ناممکن است؛ ازاین‌رو تعیین فرمولی برای هر مخلوط لازم خواهد بود.

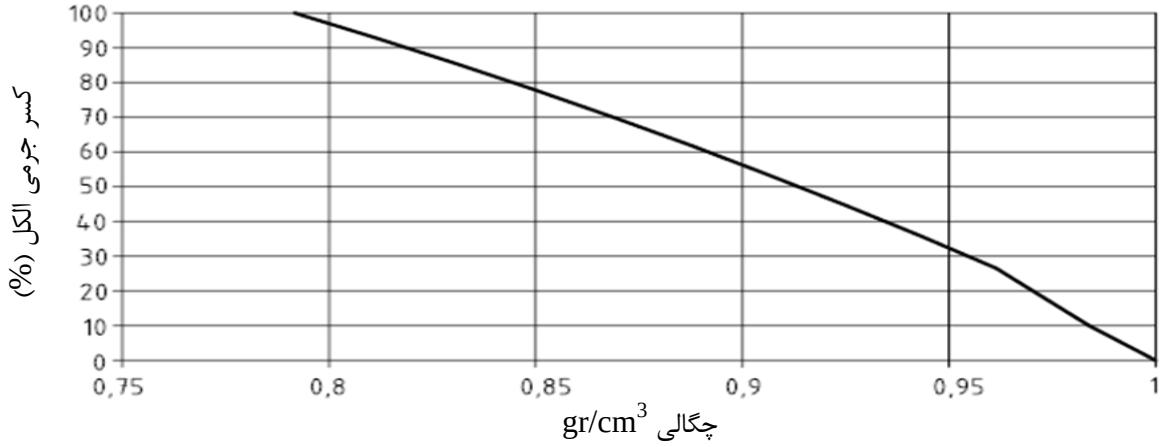
ت-۱-۱ رابطهٔ میان چگالی و کسر جرمی

شکل ت-۱، مثالی از رابطهٔ میان چگالی و کسر جرمی دو مایع اختلاط‌پذیرِ آب و اتانول در ۲۰ °C است؛ چگالی آب خالص و اتانول به شرح زیر است:

- آب: ۰٫۹۹۸ ۲۳ cm^3/gr
- اتانول: ۰٫۷۸۹ ۳۴ cm^3/gr

مثلاً در شکل ت-۱ چگالی ۰٫۷۸۹ ۳۴ cm^3/gr برای کسر جرمی ۱۰۰% اتانول و جرم ۰٫۹۹۸ ۲۳ cm^3/gr برای کسر جرمی ۰ % اتانول (یا ۱۰۰ % آب) تعیین می‌شود. دیگر مقادیر متوسط چگالی را می توان از منحنی غیر خطی در شکل ت-۱ تعیین کرد

داده‌ها از مرجع [۲] برداشته شده‌اند.



شکل ت-۱ – منحنی کسر جرمی اتانول و آب نسبت به چگالی

ت-۱-۲ کسر جرمی

مقادیر کسر جرمی که به صورت درصد بیان می‌شود مستقیماً از جدول مقادیر برازش منحنی نموداری شبیه شکل ت-۱ قابل دسترسی است.

ت-۱-۳ کسر حجمی

کمّی‌سازی حجم خالص دو جزء انحلال‌پذیر به صورت مطلق، دشوار است. اگر حجم جزء A و حجم جزء B با هم مخلوط شوند، حجم حاصل برابر حجم مجموع تک‌تک اجزا نخواهد بود. این وضعیت به دلیل بین‌نشینی مولکول‌های مخلوط روی می‌دهد. در عمل، کاربران ممکن است به اطلاعاتی مانند کسر حجمی پیش از اختلاط برای کنترل حجم-دبی نیاز داشته باشند.

$$\varphi_A = 100\ (w_A/\rho_A)/[\ (w_A/\rho_A) + (w_B/\rho_B)] \qquad (پ-۱)$$

$$\varphi_B = 100\ (w_B/\rho_B)/[\ (w_A/\rho_A) + (w_B/\rho_B)] \qquad (پ-۲)$$

که در آن

φ_A کسر حجمی جزء مخلوط بر حسب درصد؛

w_A، w_B، ρ_A و ρ_B در پیوست پ تعریف شده‌اند.

ت-۱-۴ محاسبات دبی خالص

وقتی کسرهای جرمی و حجمی معلوم شدند، محاسبات دبی جرمی و دبی حجمی عیناً مانند محاسبات پ-۲-۴ و پ-۲-۵ خواهد بود.

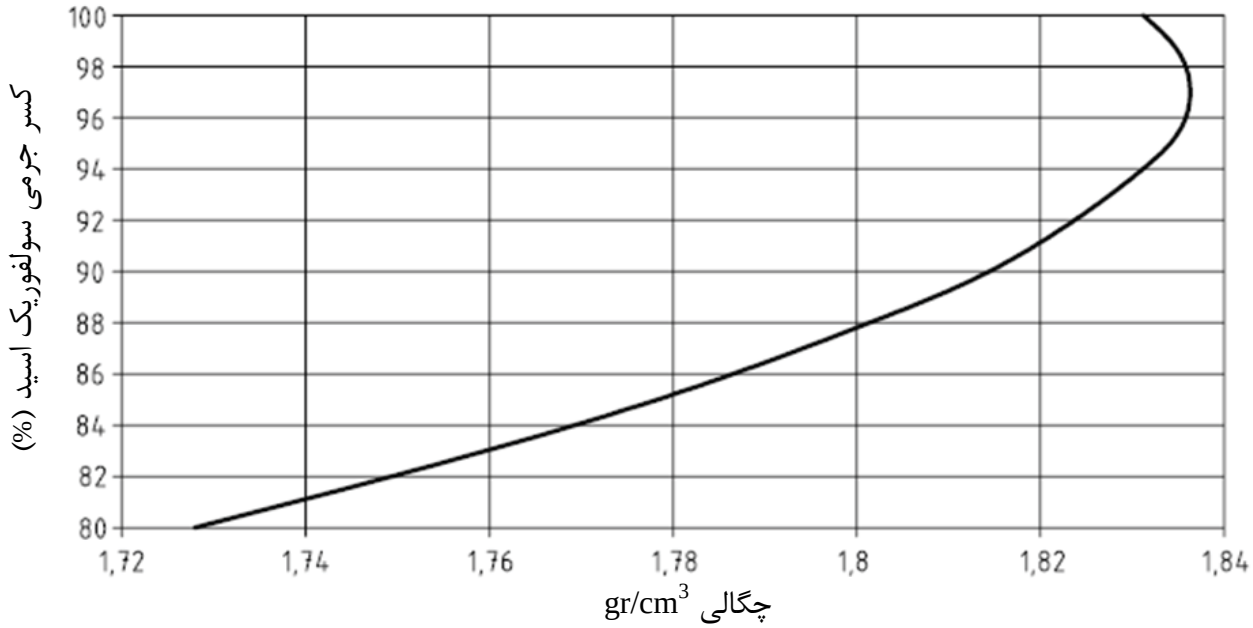
ت-۲ مایعات اختلاط‌پذیر حاوی اجزایی با برهم‌کنش شیمیایی

ت-۲-۱ رابطهٔ میان چگالی و کسر جرمی

رابطه‌ی میان دو مایع انحلال‌پذیر که از نظر شیمیایی با هم واکنش‌پذیر باشند، پیچیده است. مانند سولفوریک اسید و آب؛ یونش اسید، چگالی محلول را تغییر می‌دهد. به‌طوری که در شکل ت-۲ نشان داده شده است، نمی‌توان رابطهٔ میان غلظت و چگالی را با یک منحنی ساده توصیف کرد، زیرا یک مقدار واحد چگالی می‌تواند با دو مقدار متفاوت برای کسر جرمی همبسته باشد.

در چنین مواردی، درک رابطهٔ میان چگالی و کسر حجمی و کار در گستره‌ی بسیار باریک کسر جرمی برای همبسته کردن مقدار واحد منحنی به چگالی توسط کاربر ضروری است.

داده‌ها از دست‌نامهٔ CRC [۲] برداشته شده‌اند.



شکل ت-۲ – منحنی کسر جرمی سولفوریک اسید نسبت به چگالی

ت-۲-۲ کسر جرمی

مقدار کسر جرمی بر حسب درصد بیان می‌شود و مستقیماً از جدول مقادیر یا برازش منحنی مشابه شکل ت-۲ به دست می‌آید.

ت-۲-۳ کسر حجمی

مقدار کسر حجمی پیش از اختلاط از همان روشی محاسبه می‌شود که در بند ت-۱-۳ شرح داده شد.

ت-۲-۲ محاسبهٔ دبی خالص

مقدار کسر جرمی بر حسب درصد بیان می‌شود و مستقیماً از جدول مقادیر یا برازش منحنی مشابه شکل ت-۲ به دست می‌آید.

وقتی کسرهای جرمی و حجمی معلوم شدند، محاسبات دبی جرمی و دبی حجمی عیناً مانند محاسبات پ-۲-۴ و پ-۲-۵ خواهد بود.

کتابنامه

[1] ANSI/ASME B31.3, *Process Piping*

[2] Handbook of Chemistry and Physics (CRC), CRC Press, ISO, 57th ed., 1976-1977