

فهرست مطالب

فصل ۱ / فلومترهای مبتنی بر فشار

- ۱-۱. مقدمه‌ای بر فلومترهای مبتنی بر فشار ۱۵
- ۲-۱. ونچوری تیوب و اصول پایه‌ای آن (Venturi tubes and basic principles) ۲۰
- ۳-۱. محاسبات فلو حجمی (Volumetric flow calculations) ۲۶
- ۴-۱. محاسبات فلو جرمی (Mass flow calculations) ۳۰
- ۵-۱. تعیین مشخصه‌ی ریشه‌ی دوم (Square-root characterization) ۳۳
- ۶-۱. اُریفیس پلیت (Orifice plate) ۴۴
- ۷-۱. نحوه‌ی سایز کردن یک اُریفیس پلیت توسط نرم‌افزار ۶۳
- ۸-۱. دیگر تولیدکنندگان فشار تفاضلی ۶۵
- ۹-۱. نصب مناسب (Proper installation) ۷۵
- ۱۰-۱. اندازه‌گیری فلو با صحت بالا (High-accuracy flow measurement) ۸۲
- ۱۱-۱. خلاصه‌ای از معادلات (Equation summary) ۹۳
- ۱۲-۱. فلومترهای لایه‌ای (Laminar flowmeters) ۹۶

فصل ۲ / فلومترهای سطح متغیر

- ۱-۲. روتامتر (Rotameter) ۱۰۱
- ۲-۲. آب‌بندها و کاریزها (Weirs and flumes) ۱۰۳

فصل ۳ / فلومترهای مبتنی بر سرعت

- ۱-۳. مقدمه‌ای بر فلومترهای مبتنی بر سرعت ۱۱۵
- ۲-۳. فلومترهای توربینی (Turbine flowmeters) ۱۱۵
- ۳-۳. فلومترهای گردابی (Vortex flowmeters) ۱۲۴
- ۴-۳. فلومترهای مغناطیسی (Magnetic flowmeters) ۱۳۰
- ۵-۳. فلومترهای اولتراسونیک (Ultrasonic flowmeters) ۱۴۶

- ۶-۳. فلومترهای نوری (Optical flowmeters) ۱۵۸
- ۷-۳. فلومترهای جابه‌جایی معین (Positive displacement flowmeters) ۱۶۳
- ۸-۳. فلو حجمی استاندارد شده (Standardized volumetric flow) ۱۶۶

فصل ۴ / فلومترهای جرمی واقعی

- ۱-۴. مقدمه‌ای بر فلومترهای جرمی واقعی ۱۷۵
- ۲-۴. فلومترهای کوریولیس (Coriolis flowmeters) ۱۸۲
- ۱-۲-۴. توضیح ساده ۱۸۲
- ۲-۲-۴. نیروی کوریولیس (The Coriolis force) ۱۸۳
- ۳-۲-۴. ساختار فلومتر کوریولیس عملی (Practical Coriolis flowmeter construction) ۱۸۹
- ۴-۲-۴. تطابق تیوب‌ها و مدارات الکترونیکی (Matched tubes and electronics) ۱۹۶
- ۵-۲-۴. اندازه‌گیری چگالی و دما (Density and temperature measurement) ۱۹۷
- ۶-۲-۴. نصب مناسب (Proper installation) ۱۹۹
- ۷-۲-۴. قابلیت‌ها و محدودیت‌های فلومترهای کوریولیس ۲۰۰
- ۳-۴. فلومترهای حرارتی (Thermal flowmeters) ۲۰۱

فصل ۵ / دیگر روش‌های اندازه‌گیری فلو و سازگاری تجهیز ابزار دقیق با فرایند

- ۱-۵. وزن کردن خوراک‌ها (Weighfeeders) ۲۱۱
- ۲-۵. اندازه‌گیری فلو به روش تغییر کمیت ۲۱۴
- ۳-۵. فلومترهای فرو رونده (Insertion flowmeters) ۲۱۸
- ۴-۵. سازگاری تجهیز ابزار دقیق با فرایند (Process/instrument suitability) ۲۲۴

ضمائم

- ضمیمه ۱- کاربرد فلومترها ۲۲۹
- ضمیمه ۲- کاربرد انواع ترانس‌میتورهای فلو ۲۳۰
- ضمیمه ۳- مقایسه‌ی کلاس‌های مختلف فلومتر ۲۳۱
- ضمیمه ۴- معیارهای انتخاب فلومترها ۲۳۲
- ضمیمه ۵- خلاصه‌ای از مشخصه‌ی فلومترها ۲۳۳

پیش‌گفتار مؤلف

نرخ فلو در صنایع نفت، گاز، پتروشیمی، و آب یکی از مهمترین پارامترهایی می‌باشد که باید در سیستم و فرایند کارخانه اندازه‌گیری شود و دقت اندازه‌گیری آن بسیار با اهمیت است. فلومترها اساسی‌ترین نقش را در فرایندهای صنعتی بازی می‌کنند، این نقش در موارد و مکان‌های متعدد اهمیت مختلفی دارد. آب، گاز طبیعی، بخار، روغن، هیدروکربن‌ها، مواد شیمیایی و یا فاضلاب چند نمونه از سیالاتی هستند که باید فلوی آن‌ها هر روزه و در هر لحظه اندازه‌گیری شود. اندازه‌گیری فلو، تأثیر بسزایی بر کیفیت محصول نهایی، ایمنی و بهینه‌سازی فرآیند داشته، و از این رو اندازه‌گیری و کنترل نرخ فلو در صنعت بسیار حائز اهمیت است. همچنین اندازه‌گیری دقیق فلو به دلیل ملاحظات مالی در فروش و خرید حجم مشخصی از ماده و کالا مانند کنتور گاز خانگی و تبادلات نفتی و ... اهمیت ویژه‌ای دارد. جهت اندازه‌گیری نرخ فلو سیال روش‌ها، تکنیک‌ها و تجهیزات متفاوتی وجود دارد که هر یک برای نوع خاصی از سیال و شرایط فرایندی متفاوت مناسب می‌باشد.

عدم وجود منبعی ساده، عملی و به‌روز در مورد این مبحث مهم و پر کاربرد، اینجانب را بر آن داشت که کتابی را با همین موضوع جمع‌آوری، ترجمه و تألیف کنم. در این مجموعه علاوه بر مبانی و اصول حاکم بر انواع روش‌های اندازه‌گیری فلو، با انواع ترانس‌میتورهای فلو آشنا شده و مزایا و معایب هر کدام را شرح خواهیم داد.

این مجموعه در اصل برای تکنسین‌ها و کارشناسان ابزار دقیق که هر روزه با این تجهیزات سر و کار دارند، تألیف شده است. اما خواندن آن برای تازه‌کاران باعث پیشرفت سریع در یادگیری عملی و مهارت در کار خواهد شد. توجه به نکات و توصیه‌های ذکر شده در این کتاب، دید عملی خواننده را باز کرده و او را در هر چه بهتر انجام دادن وظایف محوله یاری می‌کند.

در اینجا بر خود واجب می‌دانم از مساعدت تمامی همکاران و دوستانی که اینجانب را در پیشرفت و تعالی یاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی صمیمانه‌ی خود را مبذول نمایم. به‌طور یقین این اثر خالی از اشکال نیست. لذا کمبودها را در صورت امکان به دیده‌ی اغماض بنگرید و در صورت تمایل می‌توانید انتقادات و پیشنهادات خود را از طریق آدرس پست الکترونیکی kmandegari@gmail.com با اینجانب در میان بگذارید. پیشاپیش از توجه و حسن نیت شما خواننده عزیز کمال سپاس و قدردانی را دارم.

عبدالکریم ماندگاری

آبان ۱۳۹۷

درباره این کتاب:

اندازه‌گیری فلو سیالات مسلماً پیچیده‌ترین نوع از اندازه‌گیری متغیرهای فرآیند در ابزار دقیق صنعتی می‌باشد. چرا که نه تنها در اندازه‌گیری فلو سیال از یک سری تکنولوژی‌های گیج‌کننده (که هر یک دارای محدودیت‌ها و خصیصه‌های ذاتی مخصوص به خود می‌باشند) استفاده می‌شود، بلکه ماهیت خود این متغیر نیز فاقد یک تعریف منحصر به فرد است. فلو (Flow) ممکن است به فلو حجمی (Volumetric flow)، فلو جرمی (Mass flow)، و یا حتی فلو حجمی استاندارد شده (Standardized volumetric flow) اشاره داشته باشد.

فلو حجمی: تعداد حجم‌هایی از سیال می‌باشد که در یک واحد زمان عبور می‌کند.

فلو جرمی: تعداد واحدهای جرمی سیال می‌باشد که در یک واحد زمان عبور می‌کند.

فلو حجمی استاندارد شده: تعداد حجم‌های گاز جاری، با فرض تفاوت مقادیر دما و فشار نسبت به چیزی که خطوط فرآیند در واقعیت با آن مواجه هستند.

فلومترهایی که برای اندازه‌گیری فلوهای گاز و بخار پیکربندی شده‌اند، اغلب برای فلوهای مایع غیر قابل استفاده می‌باشند. خواص دینامیکی سیالات در نرخ‌های فلو مختلف تغییر می‌کند. اکثر تکنولوژی‌های اندازه‌گیری فلو نمی‌توانند به یک اندازه‌گیری نسبتاً خوب که از حداکثر نرخ فلو تا فلو صفر خطی باشد دست پیدا کنند، حتی اگر به خوبی با کاربرد فرآیند تطبیق داشته باشد.

علاوه بر این، عملکرد اکثر تکنولوژی‌های مورد استفاده در فلومترها اساساً به نصب صحیح آن بستگی دارد. باید توجه داشت که نمی‌توان به راحتی یک فلومتر را در هر محل از سیستم لوله‌کشی نصب کرد و از آن انتظار داشت همانطور که طراحی شده است، عمل کند. در پروژه‌های بزرگ صنعتی این قضیه همیشه مهندسان لوله‌کشی (مکانیک) و مهندسان ابزار دقیق (کنترل) را به چالش کشیده و بین آنها ایجاد اصطکاک می‌کند. یک طرح لوله‌کشی که ممکن است از منظر عملکرد تجهیزات فرآیند و از جنبه‌ی اقتصادی عالی به نظر برسد، اغلب برای یک اندازه‌گیری فلو خوب ضعیف می‌باشد، و برعکس. در بسیاری از موارد، فلومترها به درستی نصب نمی‌شوند و تکنسین‌های ابزار دقیق در طول راه‌اندازی واحد فرآیندی باید به مشکلات اندازه‌گیری ناشی از آنها رسیدگی کنند.

حتی پس از اینکه یک فلومتر به درستی برای کاربرد فرآیند مورد نظر انتخاب شده و به درستی بر روی مسیر لوله نصب شود، باز هم ممکن است به دلیل تغییر خواص سیال فرآیند و یا وجود ناخالصی در سیال فرآیند دوباره مشکلاتی به وجود بیاید. همچنین فلومترها به مراتب بیشتر از دیگر المان‌های سنجش اولیه در معرض سایش و فرسایش قرار دارند. این به آن دلیل است که المان سنجش فلومترها باید به طور مستقیم در مسیر جریان سیالاتی قرار گیرند که به طور بالقوه ساینده هستند.

با توجه به تمام این پیچیدگی‌ها، ضروری است که حرفه‌ای‌های ابزار دقیق پیچیدگی اندازه‌گیری فلو را درک کنند. در واقع این مهم است که شما اصول فیزیکی‌ای که هر فلومتر بر اساس آن کار

می کند را کاملاً درک کنید. اگر اصول اولیه‌ی هر تکنولوژی را درک کنید، کاربردهای مناسب و مشکلات بالقوه‌ی مربوط به آن را به آسانی شناسایی خواهید کرد.

در **فصل اول** در ابتدا به اصول اولیه‌ی المان‌های ایجادکننده‌ی اختلاف فشار پرداخته می‌شود. در ادامه، معادلات و فرمول‌های فلو حجمی و فلو جرمی مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس انواع آریفیس پلیت و دیگر المان‌های ایجادکننده‌ی اختلاف فشار معرفی شده و موارد کاربرد هر یک توصیف می‌شود. در این فصل، یکی از نرم‌افزارهای مخصوص سایزینگ آریفیس پلیت معرفی شده و با یک مثال عملی توضیح داده می‌شود. در آخر هم به روش‌ها و راه‌حل‌های اندازه‌گیری فلو مبتنی بر فشار با دقت بالا پرداخته می‌شود.

در **فصل دوم** با یکی از پرکاربردترین تجهیزات اندازه‌گیری فلو یعنی روماترها آشنا می‌شوید. در ادامه نیز روش‌های اندازه‌گیری آب‌بندها و کاریزها که از جمله روش‌های بسیار سودمند در اندازه‌گیری فلو کانال‌های باز می‌باشند را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

در **فصل سوم** با انواع فلومترهای مبتنی بر سرعت از جمله فلومترهای توربینی، الکترومغناطیسی، گردابی، اولتراسونیک، و نوری آشنا شده و روش کار، مزایا، و معایب هر کدام را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در ادامه فلومترهای جابه‌جایی معین را معرفی کرده و از موارد استفاده‌ی آنها آگاه می‌شویم. در آخر فصل نیز با فلو حجمی استاندارد شده و ضرورت استفاده از آن آشنا شده و فرمول‌های آن را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

در **فصل چهارم** در ابتدا با فلو جرمی و ضرورت استفاده از آن آشنا می‌شویم. سپس یکی از مفیدترین و مدرن‌ترین فلومترهای موجود یعنی فلومترهای جرمی کوریولیس را به تفصیل مورد بررسی قرار داده و همچنین اصول عملکرد، ساختمان داخلی، روش نصب، و کاربردهای آن را شرح می‌دهیم. در ادامه نیز یکی از جذابترین فلومترهای امروزی یعنی فلومترهای جرمی حرارتی را معرفی کرده و موارد استفاده از آن را بررسی می‌کنیم.

در **فصل پنجم** با یکی از روش‌های پر کاربرد در اندازه‌گیری فلو مواد جامد یعنی Weighfeeder آشنا شده و اصول عملکرد آن را مورد بررسی قرار می‌دهیم. سپس روش جالب اندازه‌گیری فلو به شیوه‌ی تغییر کمیت را معرفی کرده و مزایا و معایب آن را توصیف می‌کنیم. در ادامه یکی از طرح‌های بسیار مفید اندازه‌گیری فلو یعنی فلومترهای Insertion را شرح داده و در انتهای فصل سازگاری انواع فلومتر با فرایند را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

در DVD همراه این کتاب فیلم‌های آموزشی بسیاری قرار داده شده است تا خواننده با تماشای آنها دید بهتری نسبت به تجهیزات اندازه‌گیری فلو پیدا کند.