پودمان ۴

اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دبی

تجهیزات اندازه‌گیری جریان سیالات نظیر اریفیس‌متر، روتامتر و ونتوری‌متر، از مهم‌ترین وسایل اندازه‌گیری، طراحی و امور راهبردی صنایع شیمیایی است.

واحد یادگیری ۴

انجام ثبت مشخصات و کنترل دبی

مقدمه

مبنای همه فناوری‌ها و رشته‌های علمی و صنعتی بشر امروز، اندازه‌گیری صحیح کمیّت‌ها می‌باشد. یکی از مهم‌ترین کمیّت‌ها دبی می‌باشد. اندازه‌گیری دبی در صنایع شیمیایی توسط تجهیزاتی به نام دبی‌سنج انجام می‌شود. میزان دقیق مواد ورودی و خروجی فرایندها، توسط دبی‌سنج‌ها صورت می‌گیرد. این پودمان کتاب به اهمیّت به کارگیری محاسبات در اندازه‌گیری دبی جریان مایعات و گازها، انواع و شیوهٔ کار با آنها و کنترل دبی سیالات می‌پردازد. سپس با انجام آزمایش و بازدیدهای علمی، طرز عملکرد هر یک را بهتر درک خواهید کرد.

استاندارد عملکرد

به کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری شدت جریان (دبی) مایعات و گازها، کنترل دبی سیال مطابق دستور کار

شایستگی‌های غیر فنی

۱ **اخلاق حرفه‌ای:** حضور منظم و وقت‌شناسی ـ انجام وظایف و کارهای محوله ـ پیروی از قوانین
۲ **مدیریت منابع:** شروع به کار به موقع ـ مدیریت مؤثر زمان ـ استفاده از مواد و تجهیزات
۳ **کار گروهی:** حضوری فعّال در فعالیت‌های گروهی ـ انجام کارها و وظایف محوله
۴ **مستندسازی:** گزارش نویسی فعالیت‌های کارگاهی
۵ **محاسبه و کاربست ریاضی**

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود

۱ مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری دبی سیال را به‌کار گیرند.
۲ اندازه‌گیری دبی مایعات را انجام دهند.
۳ اندازه‌گیری دبی گازها را انجام دهند.
۴ دبی سیال را کنترل نمایند.

اندازه‌گیری مقدار سیالات

بحث گروهی

آیا این مکان را می‌شناسید؟ آیا می‌دانید که این دستگاه چیست؟

(الف)

(ب)

بشر با اندازه‌گیری بسیاری از کمیّت‌ها، توانسته است در ادارهٔ امور زندگی خود نظم و ترتیب برقرار کند که نتیجهٔ آن پیشرفت در زمینه‌های مادی، مالی، علمی، فنی و به دنبال آنها در زمینه‌های اجتماعی و اقتصادی است. نیاز بشر به زندگی در اجتماع و بیشتر شدن خواسته‌های او پیوسته، اهمیّت این کار را بیشتر می‌کند. بنابراین، ضروری است که به «اندازه‌گیری» و نقش آن در صنایع شیمیایی نگاهی دقیق‌تر داشته باشیم.

یکی از عوامل پیشرفت بشر «کمّی کردن» و «اندازه‌گیری» موضوعات مطرح در زندگی روزانهٔ او بوده است.

شدت جریان (دبی[1])

چند تعریف

■ سیال:

سیال به جسمی گفته می‌شود که بتواند جاری شود و تحت تأثیر نیروهای کوچک، تغییر شکل قابل ملاحظه‌ای داشته باشد.

■ گرانروی

خاصیتی است که سبب مقاومت سیال در برابر جریان یافتن می‌شود. به بیان دیگر، گرانروی به اصطکاک داخلی مولکول‌های سیال با یک‌دیگر گفته می‌شود.

۱ - Flow Rate

دبی یا شدت جریان سیال

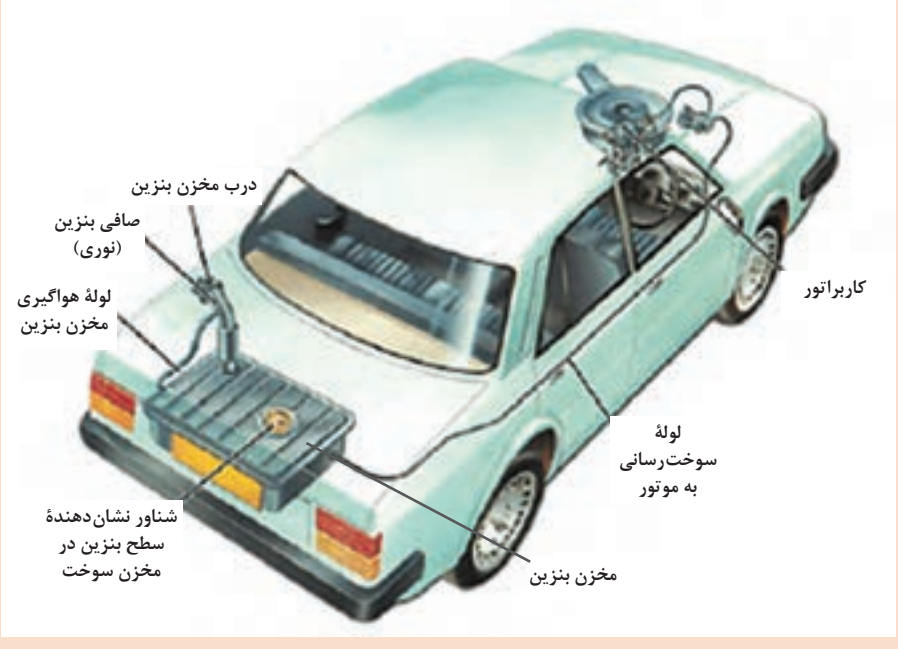
دبی، به مقدار سیال عبوری از یک سطح مقطع مشخص در واحد زمان گفته می‌شود. اگر مقدار سیال براساس جرم باشد، به آن دبی جرمی و اگر براساس حجم باشد، دبی حجمی گویند.

دبی یک کمیّت فیزیکی است که نتیجهٔ جاری شدن سیال می‌باشد. جریان‌پذیری از جمله خواص ذاتی سیال‌ها و تفاوت آنها با جامدات به شمار می‌رود. این خاصیت سبب آسانی انتقال آنها از محلی به محل دیگر می‌باشد. در بسیاری از صنایع و کاربردهای فنی، دانستن میزان دقیق یک جریان عبوری سیال (مایع یا گاز) در واحد زمان از یک لوله یا دیگر تجهیزات، لازم است. کیفیت مناسب محصولات یک فرایند تولیدی، به نسبت مواد اولیهٔ سازندهٔ آن بستگی دارد. این نسبت، از اندازه‌گیری شدت جریان آنها مشخص می‌گردد. گاهی هم اندازه‌گیری و تنظیم یک کمیّت، برای تنظیم و مدیریت یک کمیّت دیگر ضروری است؛ مانند شدت جریان سوخت کوره در یک واحد فرایندی که مقدار دمای خروجی و دیگر شرایط عملیاتی، مقدار آن را تعیین می‌کند.

به عنوان مثال، چون میزان حجم مخزن بنزین خودرو معلوم است، با دانستن شدت جریان عبور بنزین، می‌توانیم مدت زمان لازم برای پر کردن آن را به‌دست آوریم.

پرسش

فرض کنید که مخزن سوخت خودرویی ۴۵ لیتر گنجایش بنزین دارد (شکل ۱). پمپ بنزین جایگاه عرضهٔ سوخت با شدت ۹ لیتر در دقیقه، بنزین تحویل می‌دهد. اگر این مخزن کاملاً خالی باشد، بیشترین زمان پرشدن آن را به‌دست آورید. در صورت انجام سوخت‌رسانی به مدت پنج و نیم دقیقه چه اتفاقی می‌افتد؟



شکل ۱ــ جایگاه مخزن بنزین در خودرو

بحث گروهی

آیا می‌دانید که مقدار نفت خام تحویل شده به کشتی‌های نفت‌کش اقیانوس‌پیما (شکل ۲) را چگونه اندازه‌گیری می‌کنند؟

شکل ۲ ـ یک نمونه کشتی نفت‌کش اقیانوس‌پیما

انواع دبی

پیش‌تر گفتیم که در بسیاری از صنایع و کاربردهای فنّی، دانستن کمیّت یک جریان عبوری سیال از برخی تجهیزات در واحد زمان، ضروری است؛ به این کمیّت دبی گفته می‌شود.

پرسش

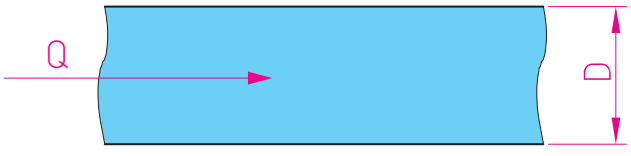
حتماً دیده‌اید که بنزین موتور بر حسب لیتر (یعنی به‌صورت حجمی) فروخته می‌شود؛ اما از کپسول‌های گاز مایع با عنوان «کپسول هجده کیلویی» (یعنی به‌صورت جرمی) نام برده می‌شود. آیا می‌دانید چرا؟

معمولاً دو نوع دبی به کار می رود: **دبی حجمی** و **دبی جرمی**.

دبی حجمی (Q)

به حجم معینی از سیال که از یک مقطع در واحد زمان عبور کند، دبی حجمی می گویند.

$$\text{دبی حجمی} = \frac{\text{حجم}}{\text{زمان}}$$

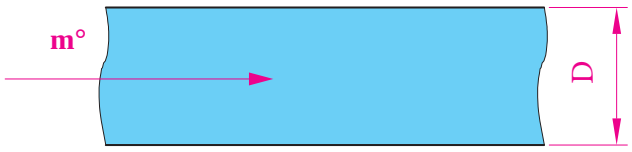


شکل ۳ ـ نمایشی از دبی حجمی در خط لوله (Q: دبی حجمی سیال و D: قطر خط لوله)

دبی جرمی (m°)

جرم معینی از سیال را که از یک مقطع در واحد زمان عبورکند، دبی جرمی می‌گویند.

$$\text{دبی جرمی} = \frac{\text{جرم}}{\text{زمان}}$$



شکل ۴ ـ نمایشی از دبی جرمی در خط لوله (m°: دبی جرمی سیال و D: قطر خط لوله)

چگونگی تبدیل دبی حجمی و دبی جرمی به یکدیگر مانند تبدیل حجم و جرم به یکدیگر است، به این ترتیب که در محاسبات برای تبدیل دبی حجمی و دبی جرمی از چگالی سیال استفاده می‌شود.

$d=m/v$

$d=(m/t)/(v/t)$

$d=m^\circ/Q$

$m^\circ=d\times Q$

که در آن m° دبی جرمی، Q دبی حجمی، v حجم، d چگالی سیال و t زمان عبور آن است.

بنابراین دبی جرمی از حاصل ضرب دبی حجمی در چگالی سیال به دست می‌آید.

برای اندازه‌گیری دقیق انتقال یک سیال (اعم از مایع و گاز یا حتی مخلوط آنها) وسایل گوناگونی ساخته شده که به آنها جریان‌سنج یا دبی‌سنج گفته می‌شود. به دلیل دشواری این اندازه‌گیری و امکان بروز خطای بیشتر در این زمینه، طراحی، انتخاب و نصب این تجهیزات نیازمند دانش، تجربه و دقت بیشتری است.

یکاهای دبی

در سامانهٔ واحدهای بین‌المللی SI، از یکای «مترمکعب بر ثانیه (m^3/s)» برای دبی‌حجمی و یکای «کیلوگرم بر ثانیه (kg/s)» برای دبی جرمی استفاده می‌شود.

$$\text{واحد دبی حجمی} = \frac{\text{مترمکعب}}{\text{ثانیه}} = \frac{m^3}{s}$$

$$\text{واحد دبی جرمی} = \frac{\text{کیلوگرم}}{\text{ثانیه}} = \frac{kg}{s}$$

در سامانه‌های انگلیسی (FPS) از یکای فوت مکعب بر ثانیه (ft^3/s) برای دبی حجمی استفاده می‌گردد.
یکای جرمی در سامانه‌های انگلیسی پوند (lb) است که معادل ۴۵۴ گرم است.
البته یکای گالن بر دقیقه (GPM) هم در کشورهای انگلیسی زبان استفاده دارد. فوت مکعب، ۲۸/۳۱۷ لیتر، گالن آمریکایی ۳/۷۸۵ لیتر و گالن انگلیسی ۴/۵ لیتر، هستند.

تبدیل یکاهای دبی

ضرورت تبدیل یکاها به یکدیگر

یکاها برای بیان اندازه‌گیری کمیّت‌های مورد نظر به‌کار می‌روند. یکنواختی یکاها، در ارتباطات و تبادلات علمی، فنی، اقتصادی، فرهنگی و غیره درون کشورها و بین کشورها اهمیّت زیادی دارد. دستگاه متریک را لاوازیه شیمی‌دان فرانسوی برای اولین بار در سال ۱۱۷۰ شمسی (۱۷۹۰ میلادی) ارائه کرد. قبل از اختراع آن، چندین نوع دستگاه متفاوت و پیچیده برای اندازه‌گیری اجسام وجود داشت. سپس، در سال ۱۳۳۹ شمسی (۱۹۶۰ میلادی) دستگاه بین‌المللی استاندارد شده یکاها (SI) پایه‌گذاری شد. این دستگاه، نوع پیشرفتهٔ دستگاه متریک برای سنجش کمیّت‌ها است. دستگاه SI در چند کمیّت اصلی مانند طول، جرم و زمان با دستگاه متریک مشترک است؛ اما در بسیاری از کمیّت‌های اصلی و فرعی دیگر با آن تفاوت دارد؛ مانند درجه‌های کلوین و سلسیوس برای دما، یا ژول و کیلوکالری برای انرژی. درنتیجه لازم است که با تبدیل یکاها آشنایی کافی داشته باشیم.

مثال

اگرحجم مخزن بنزین خودرویی ۴۵ لیتر باشد، این حجم در سامانهٔ انگلیسی برابر خواهد بود با:

$$\text{حجم مخزن} = ۴۵\ L \times \frac{۱\ Gal}{۴/۵\ L}$$

$$\text{حجم مخزن} = ۱۰\ Gal$$

از دیگر یکاهای متداول برای دبی می‌توان لیتر بر دقیقه و فوت مکعب بر دقیقه را هم نام برد.

پرسش

یک گالن انگلیسی بر دقیقه معادل چند لیتر بر دقیقه و چند مترمکعب بر ثانیه است؟

عدد رینولدز[1]

سیّالات با سرعت‌های کم معمولاً در محدودهٔ جریان آرام هستند. برای تعیین نوع جریان عدد رینولدز تعریف می‌شود. این عدد کمیتی بدون یکا است و تابع خصوصیات فیزیکی سیّال است و نسبت مستقیم با سرعت و سطح مقطع لوله‌ای دارد که سیّال در آن جاری است. عدد رینولدز براساس معادلهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{عدد رینولدز} = \frac{\text{(قطر) (سرعت) (چگالی)}}{\text{(گرانروی)}}$$

$$\text{Re No} = \frac{d.V.D}{\mu} \qquad \text{مخزن}$$

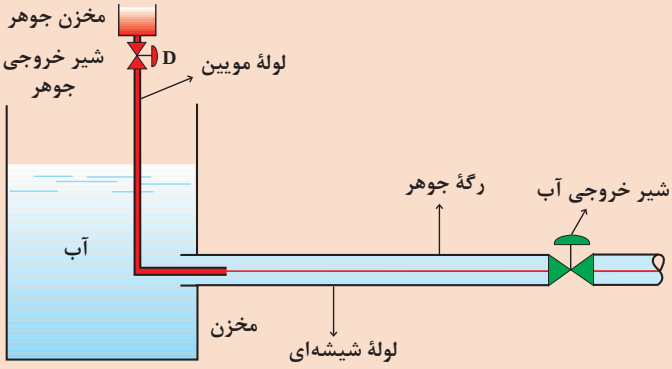
جریان آرام: هرگاه عدد رینولدز از رقم ۲۰۰۰ کمتر باشد، جریان را «آرام» می‌نامیم.
جریان آشفته: سیّالات با عدد رینولدز بیش از ۴۰۰۰ را «جریان آشفته» می‌گویند.
جریان گذرا[2]: محدودهٔ بین عدد رینولدز ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ را «جریان گذرا» می‌نامند که حالت ناپایدار دارد و با کوچک‌ترین تحریکی به سمت جریان آشفته گرایش پیدا می‌کند.

فعالیت کارگاهی

محاسبهٔ میزان دبی و تعیین نوع جریان

وسایل مورد نیاز برای انجام فعالیت مطابق شکل زیر عبارت‌اند از:

۱ـ مخزن شیشه‌ای
۲ـ لولهٔ مویین و مخزن جوهر
۳ـ لولهٔ شیشه‌ای خروجی از مخزن
۴ـ شیرهای قطع و وصل جریان



روش کار

۱ـ مخزن را از آب پر کنید.
۲ـ جوهر را درون مخزن بریزید.
۳ـ شیر خروجی آب را کمی باز کنید.
۴ـ شیر خروجی جوهر را باز کنید.
۵ـ نوع جریان را درون لوله مشاهده نمایید.
۶ـ این فعالیت را در دبی‌های مختلف انجام دهید.
۷ـ مشاهدات خود را شرح دهید.

۱- Reynolds Number
۲- Transition Flow

۸ـ به‌ازای دبی‌های مختلف عدد رینولدز را محاسبه کنید و در جدولی یادداشت کنید.
تغییرات رژیم جریان بر اثر افزایش عدد رینولدز در این آزمایش به‌خوبی قابل مشاهده است. در حقیقت محدودهٔ جریان‌های آرام و آشفته به‌وسیلهٔ این آزمایش مشخص خواهد شد.
در این فعالیت، که در دمای محیط انجام می‌پذیرد از مقدارهای زیر برای انجام محاسبات استفاده نمایید:

گرانروی آب: $۸/۹۴\times۱۰^{-۴}(Pa.s)$

چگالی آب: $۹۹۷/۱(kg/m^{۳})$

محاسبهٔ ضریب اصطلاک در جریان آرام

معمولاً برای جریان آرام از معادلهٔ زیر استفاده می‌شود:

$$\text{ضریب اصطکاک} = \frac{۶۴}{\text{عدد رینولدز}}$$

$$f = \frac{۶۴}{Re\ No}$$

ـ با استفاده از جدول بالا، ضریب اصطلاک جریان‌های آرام را محاسبه کنید.

فعالیت کارگاهی

تغییرات گرانروی

در محدودهٔ جریان آرام ($R_e<۲۰۰۰$) براساس معادلهٔ زیر می‌توان اثر دما را بر گرانروی سیّال پیدا کرد.
از این معادله می‌توان گرانروی سیال را در محدودهٔ جریان آرام پیدا کرد.

$$\text{گرانروی} = \frac{(\text{قطر لوله})^{۴}\ (\text{عدد پی})\ (\text{اختلاف فشار})}{(\text{طول لوله})\ (\text{دبی})\ (۱۲۸)}$$

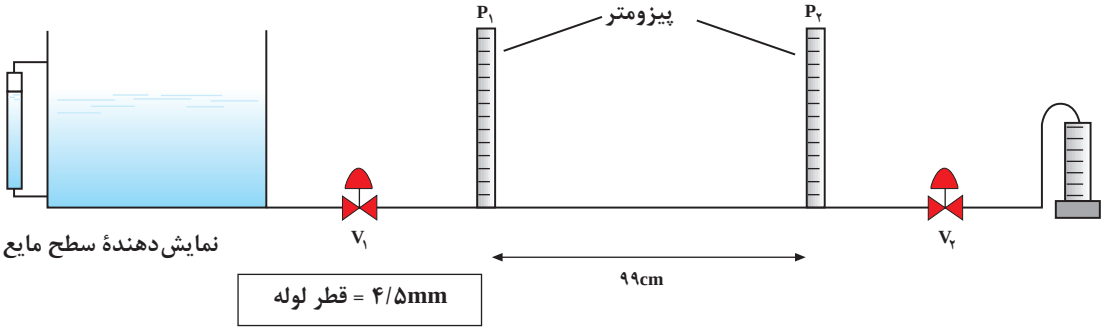
$$\mu = \frac{\Delta P.\pi.D^{۴}}{۱۲۸.Q.L}$$

(معادلهٔ گرانروی نیازی به حفظ کردن ندارد.)
(با اندازه‌گیری اختلاف فشار در دبی‌های مختلف از طریق پیزومتر و در حالت سرعت ثابت در دماهای مختلف گرانروی محاسبه خواهد شد.)

مراحل کار:

۱ـ شیرهای $V_۱$ و $V_۲$ (مطابق شکل صفحه بعد)را بسته نگاه دارید و تانک ذخیره را پر کنید.
۲ـ شیر $V_۱$ را باز کرده $V_۲$ را همچنان بسته نگاه دارید.
۳ـ به‌وسیلهٔ یک المنت برقی مجهز به ترموستات آب را تا ۴۰ درجهٔ سلسیوس گرم کنید.
۴ـ شیر $V_۲$ را باز کنید تا جریان آرام برقرار شود.
۵ـ زمان لازم برای پر شدن ۵۰ میلی‌لیتر از استوانهٔ مدرّج را اندازه‌گیری کنید.

۶ـ مراحل «۳» الی «۵» را برای دماهای ۴۵°C، ۵۰°C، ۵۵°C و ۶۰°C تکرار نمایید.
۷ـ جدول (۱) را تکمیل کنید و در دماهای مختلف گرانروی سیال را پیدا نمایید.



جدول ۱ تغییرات گرانروی با دما

	۴۰°C	۴۵°C	۵۰°C	۵۵°C	۶۰°C
زمان (ثانیه)					
حجم پر شده (ml)					
اختلاف ارتفاع (cm)					
گرانروی					

پرسش

جدول (۱) را برای دبی‌های مختلف تهیه کنید و تأثیر دما را بر روی گرانروی در دبی‌های مختلف محاسبه نمایید.

روش‌های اندازه‌گیری دبی مایعات

بحث گروهی

به تصویرهای زیر با دقت نگاه کنید، این تجهیزات چه کاری را برای ما انجام می‌دهند؟ آیا وسایل دیگری را می‌شناسید که عملی مانند آنها انجام دهند؟

الف)

ب)

پ)

دراندازه‌گیری میزان جریان سیال به چند روش اشاره می‌شود:

۱ روش مستقیم توزینی: این روش، معمولاً برای مایعات غیر فرّار مثل آب به‌کار می‌رود، به این صورت که زمان لازم برای جمع‌آوری مقدار معینی مایع در یک ظرف را اندازه می‌گیرند و سپس مایع جمع‌آوری شده را به دقت وزن کرده و دبی را محاسبه می‌کنند.
۲ اندازه‌گیری مستقیم حجم با پیمانه هنگام فروش مایعات در خرده‌فروشی (نفت، شیر و مانند آن)
۳ اندازه‌گیری به کمک پمپ‌های جابه‌جایی مثبت[1]، کنتورهای آب و گاز
۴ روش اثرات مقاومت سیال یا روش سطح متغیر (در روتامترها)
۵ روش اندازه‌گیری به کمک انسداد جریان با استفاده از وسایل: صفحهٔ منفذدار یا اریفیس‌متر، نازل و ونتوری‌متر

روش‌های مورد استفاده در اندازه‌گیری دبی مایعات بسیار متنوع هستند. ویژگی‌های سیال مانند جنس، گران‌روی و فشار بخار، دما، هدایت الکتریکی، مقدار جامد معلق در سیال و ..... از جمله عواملی هستند که نوع روش را مشخص می‌کند.

فعالیت کارگاهی

با استفاده از یک استوانهٔ مدرّج و کرنومتر (زمان‌سنج)، دبی حجمی و جرمی شیر آب کارگاه هنرستان خود را، در حالت‌های مختلف، محاسبه کنید.

ساخت یک جریان‌سنج آب (از نوع منفذدار و به روش مستقیم)

وسایل لازم:

۱ـ یک بطری پلاستیکی شفاف (مانند بطری آب معدنی)
۲ـ زمان‌سنج
۳ـ استوانهٔ مدرج

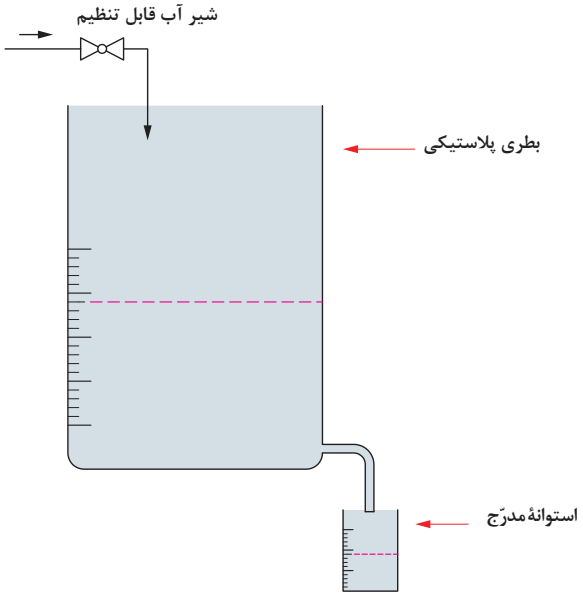
۱ـ Positive Displacement

روش کار :

بالای بطری پلاستیکی را ببرید تا یک ظرف استوانه‌ای دهان‌گشاد به‌دست آید. در پایین سطح جانبی آن (مثلاً به فاصلهٔ دو سانتی‌متر از ته بطری) سوراخ کوچکی (مثلاً) به قطر سه میلی‌متر ایجاد کنید. برای دستیابی به دبی مناسب، شیر آب را آن‌قدر باز کنید که در مدت ۱۰ ثانیه، ۱۰۰ میلی‌لیتر آب در استوانهٔ مدرّج جمع‌آوری شود. بطری را زیر شیر آب بگذارید؛ پس از مدت کمی، سطح آب جمع شده در بطری ثابت می‌شود. همان لحظه بر روی بطری علامتی بگذارید، که نشان‌دهندهٔ دبی ۱۰ میلی‌لیتر بر ثانیه باشد، سپس دبی شیر آب را تغییر دهید. با تکرار این کار برای مقادیر مختلف جریان و به همین صورت، یک جریان‌سنج ساده آب (از نوع منفذدار) و به‌روش مستقیم ساخته‌اید. توجه داشته باشید که در هر مرتبه، حتماً باید سطح آب در بطری ثابت بماند، چرا که فقط در این صورت مقدار اندازه‌گیری شده با جریان آب شیر برابر خواهد بود.

شکل ۵ ــ وسایل اندازه‌گیری دبی حجمی

با توجه به لزوم پرهیز از اسراف و ریخت و پاش آب، سعی کنید تا حد امکان این آزمایش را با مقدار کم آب انجام دهید.



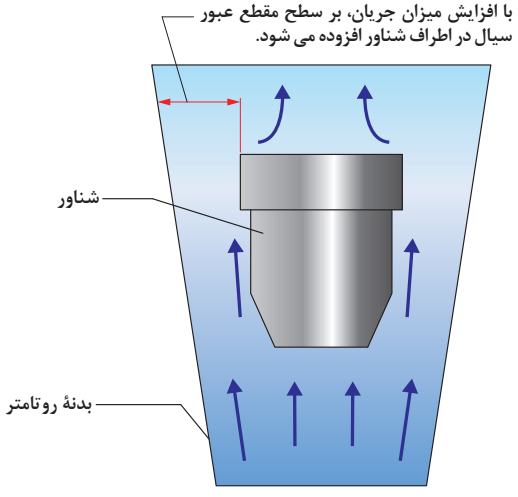
شکل ۶ ــ طرح ساده‌ای از آزمایش جریان‌سنج آب

روش اثرات مقاومت سیال یا روش سطح متغیر (روتامتر)

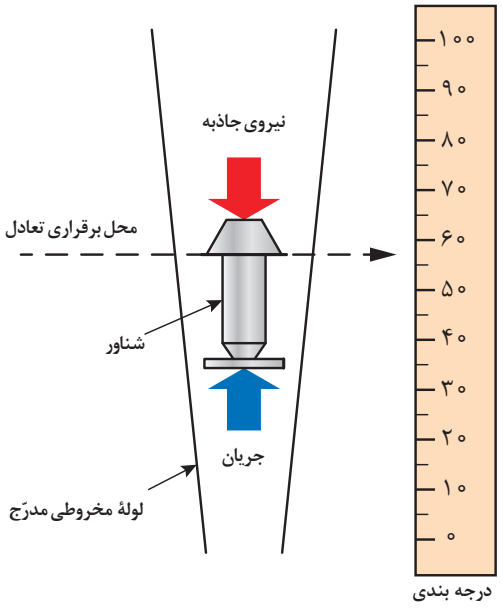
روتامتر ساده‌ترین و متداول‌ترین وسیلهٔ سنجش جریان مایعات و گازهاست. این وسیله از یک شناور (با چگالی بیشتر از سیال) و یک ظرف فلزی یا شیشه‌ای (به‌صورت مخروط ناقص وارونه) تشکیل شده است (شکل ۷). شناور در داخل ظرف قرار دارد. نصب بدنهٔ روتامتر به‌صورت عمودی و جریان سیال از پایین به بالاست. با جریان یافتن سیال، شناور براساس نیروی رانش سیال به‌صورت غوطه‌ور در می‌آید (شکل ۸). هرچه شدت جریان سیال بیشتر گردد، نیروی وارد بر شناور نیز بیشتر می‌شود و در نتیجه شناور رو به بالا حرکت می‌کند. چون سطح مقطع داخل ظرف رو به بالا بیشتر می‌شود، سرعت خطی سیال در هر مقطع از ارتفاع بالاتر، کمتر می‌گردد و در نتیجه نیروی وارده از سیال بر شناور کم شده، دوباره با وزن شناور مساوی می‌شود و به تعادل می‌رسند (شکل ۹). پس شناور در این سطح بالاتر می‌ایستد.کل بازهٔ جابه‌جایی شناور در بدنهٔ روتامتر برحسب دبی مدرّج گشته است. در نتیجه، با کم و زیاد شدن جریان سیال، محل تعادل جدید، میزان جدید جریان سیال را نشان می‌دهد. به بیان دیگر، براساس اصول نظری، در روتامتر از موازنهٔ نیروهای وارد بر شناور، می‌توان دبی حجمی سیال را به‌دست آورد. جنس شناور غالباً فلزی بوده، در اشکال گوناگونی ساخته می‌شود. مقادیر قابل اندازه‌گیری جریان سیال به‌وسیلهٔ روتامترها معمولاً در گستره و مقیاس کوچکی هستند. بیشترین میزان جریان در روتامترها، ۱۵ برابر میزان حداقل آن است، ولی عملاً برای نسبت ۱۰ به بالا از دو یا چند روتامتر موازی استفاده می‌گردد. مزیت روتامترها در این است که گران‌روی و جرم مخصوص سیال تأثیر کمی در اندازه‌گیری و دقت آنها دارند.

برخی از روتامترها یک سیم یا میلهٔ هدایت‌کننده در درون ظرف خود دارند که حرکت عرضی شناور را مهار کرده، از چسبیدن آن به دیوارهٔ ظرف جلوگیری می‌کند (شکل ۱۰). در نتیجه روتامتر تنها می‌تواند حرکت رو به بالا یا پایین در امتداد آن داشته باشد. دقّت این دستگاه ۱ تا ۵ درصد است. جنس بدنه (مخروطی شکل) روتامتر در دماها و فشارهای کم و سیالات بی‌خطر (غیرخورنده، غیرسمی و غیرآتش‌گیر) شیشه پیرکس (بوروسیلیکات) است، اما در فشارهای بیشتر، از فلز استفاده می‌گردد.

شکل ۷ ــ یک نمونه روتامتر معمولی



شکل ۸ ــ نمایش حرکت سیال در روتامتر



شکل ۹ ــ طرح ساده‌ای از نیروهای وارد بر شناور

شکل ۱۰ ــ روتامتر با میلهٔ هدایت‌کننده

روتامترها علاوه بر کاربردهای صنعتی، در مراکز بهداشتی مثل کپسول‌های اکسیژن بیمارستانی نیز استفاده فراوانی دارند (شکل ۱۱ و ۱۲).

شکل ۱۱ــ کپسول اکسیژن طبی به همراه روتامتر

شکل ۱۲ ــ روتامتر اندازه‌گیری جریان اکسیژن

فعالیت کارگاهی

اندازه‌گیری دبی سیال با روتامتر

وسایل لازم:

۱ـ مخزن ذخیرهٔ آب؛
۲ـ پمپ (از نوع گریز مرکز)؛
۳ـ شیر تنظیم‌کننده؛
۴ـ روتامتر؛
۵ـ استوانهٔ مدرّج؛
۶ـ زمان سنج.

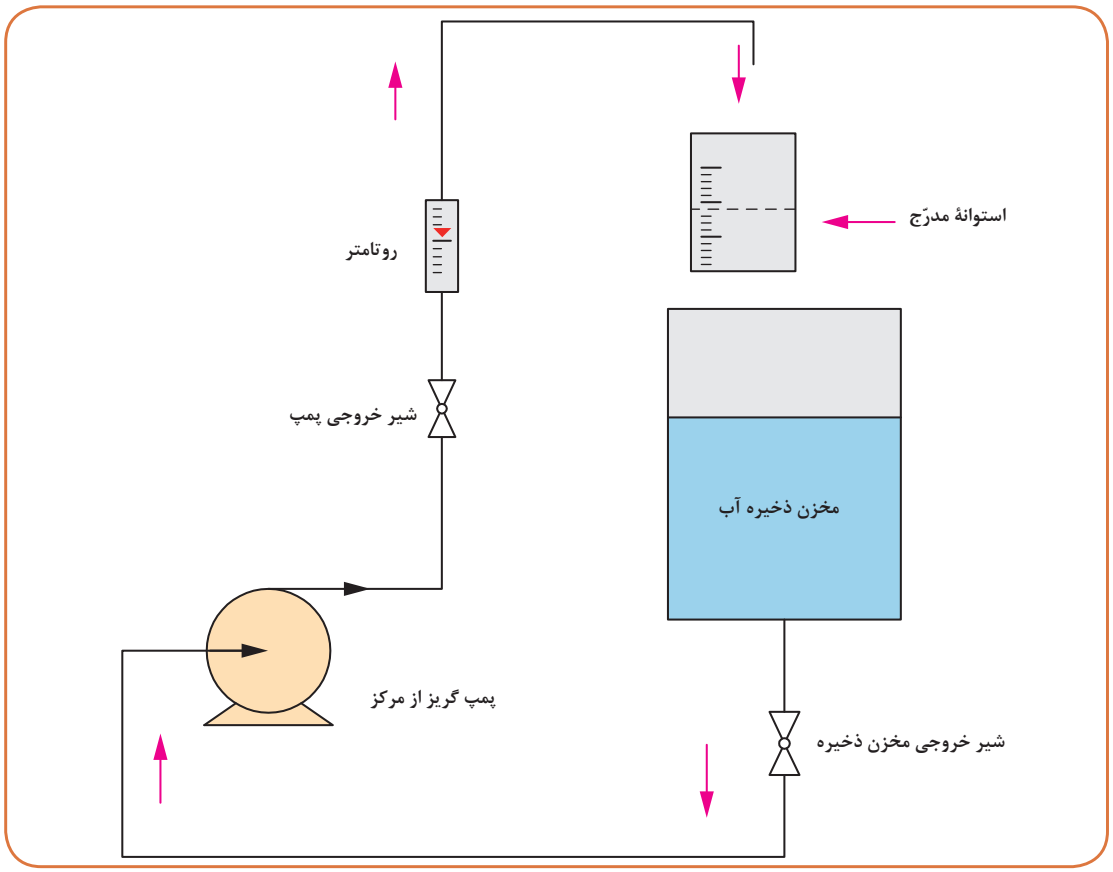
وسایل لازم:

ابتدا مداری بسته مانند شکل ۱۳ را تشکیل دهید. مراقب باشید که مقدار آب در مخزن ذخیره هیچ‌گاه از ۸۰ درصد ظرفیت کل آن بیشتر نباشد.

با اجازهٔ مربی خود، ابتدا شیر خروجی پمپ را ببندید و شیر خروجی مخزن ذخیره را باز کنید، پس از اینکه حجم آب درون مخزن ذخیره را به حدود ۸۰ درصد ظرفیت کل آن رساندید، پمپ را روشن کنید. شیر خروجی پمپ را آهسته و با احتیاط باز کنید. با استفاده از روتامتر میزان کمی جریان آب را (مثلاً ۵ درصد کل جریان) در مدار برقرار کنید و صبر کنید تا ثابت شود. حال با کمک استوانهٔ مدرّج و زمان‌سنج میزان دقیق جریان آب را (با سه بار تکرار و متوسط‌گیری نتایج) به‌دست آورید. نتیجه را به همراه مقدار اندازه‌گیری شدهٔ روتامتر در جدول (۲) یادداشت کنید. اکنون با تغییر دادن مقدار باز شدن شیر خروجی پمپ، مقدار جریان آب را بیشتر کنید. همانند قبل میزان جریان آب را به کمک روتامتر و استوانهٔ مدرّج در هر حالت به‌دست آورید، سپس در ستون سوم درصد خطا را بنویسید. این کار را با تکرار آزمایش ادامه دهید (تا چند سطر کافی است). نتایج جدول را مقایسه و دربارهٔ آنها (یعنی دقت شرکت سازنده روتامتر و کار عملی خود) بحث کنید.

جدول ۲ـ آزمایش اندازه‌گیری دبی سیال با استفاده از روتامتر

میزان جریان آب با استوانهٔ مدرّج (لیتر بر دقیقه)	میزان جریان آب با روتامتر (لیتر بر دقیقه)	درصد خطا



شکل ۱۳ــ طرح ساده‌ای از آزمایش اندازه‌گیری دبی سیال با روتامتر

تمرین

روتامتری میزان جریان حجمی نفت گاز (گازوئیل) را در لوله‌ای، برابر با ۹۰ لیتر در دقیقه اندازه‌گیری کرده است. با توجه به چگالی این ماده که ۸۵۰ گرم بر لیتر است، دبی جرمی آن را در سامانه‌های بین‌المللی SI و انگلیسی به‌دست آورید.

وسایل جریان‌سنج سیالات بر پایهٔ نصب موانع

در این تجهیزات موانعی بر سر جریان آزاد سیالات تعبیه می‌گردد که میزان جریان حجمی آنها از روی افت فشار ایجاد شده به وسیلهٔ این موانع، محاسبه می‌گردد. این قبیل موانع انواع گوناگونی دارند و در صنعت بسیار به‌کار می‌روند. مهم‌ترین انواع آنها را اریفیس متر یا منفذ[۱]، ونتوری متر[۲] (شیپورهٔ هم‌گرا ـ واگرا) و نازل[۳] تشکیل می‌دهند. قیمت اریفیس‌متر کمتر از نازل و قیمت نازل کمتر از ونتوری‌متر است.

۱ـ Orifice
۲ـ Venturi
۳ـ Nozzle

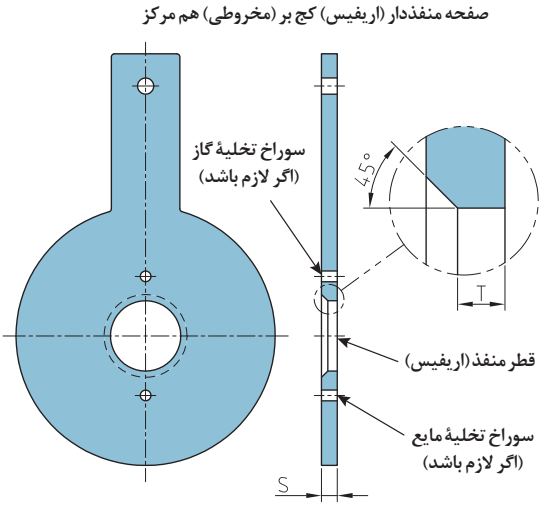
افت فشار نازل کمتر از اریفیس‌متر، و افت فشار ونتوری‌متر کمتر از نازل است. از این وسایل هم برای سنجش جریان مایعات و هم گازها می‌توان استفاده کرد.

اریفیس‌متر

این وسیله به‌صورت صفحه‌ای است که روی آن سوراخی تعبیه شده است و در مسیر جریان سیال قرار داده می‌شود (شکل ۱۴). وجود این قطعه باعث ایجاد افت فشاری در جریان سیال می‌شود که با اندازه‌گیری آن میزان جریان سیال قابل محاسبه است.

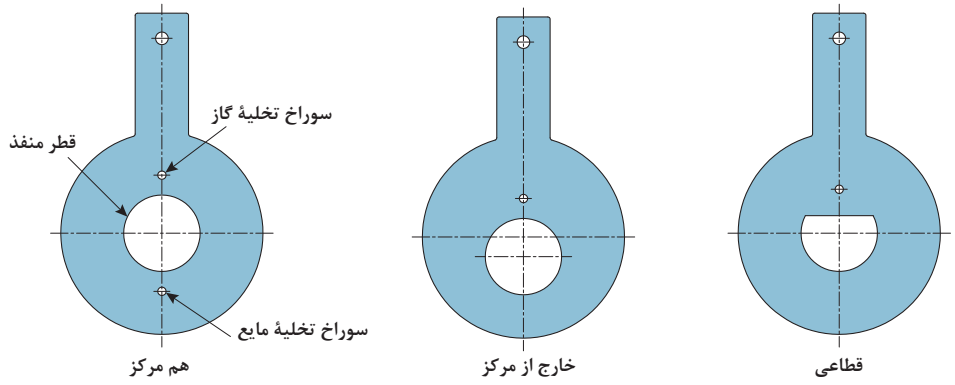
شکل ۱۴ ــ صفحهٔ اریفیس‌متر همراه با اتصالات

دقت اندازه‌گیری جریان، وابسته به دقت ماشین‌کاری منفذ و لبه‌های آن، و مشخصات سوراخ‌های متصل به مانومتر یا فشارسنج، از جمله محل نصب مناسب و بهینه است (شکل ۱۵). این موارد به وسیلهٔ استانداردهایی مشخص شده است.



شکل ۱۵ــ طرح ساده‌ای از روبه‌رو و پهلوی اریفیس‌متر

اریفیس‌مترها به سه دستهٔ عمده تقسیم‌بندی می‌گردند (شکل ۱۶): ۱ـ هم مرکز[۱]؛ ۲ـ خارج از مرکز[۲]؛ ۳ـ قطاعی[۳].



شکل ۱۶ـ انواع صفحات اریفیس‌متر

تحقیق کنید

در مورد هر یک از انواع اریفیس‌مترها و کاربرد آنها گزارشی تهیه کنید.

اریفیس‌متر برای اندازه‌گیری دبی سیالات اعم از مایع و گاز به‌کار می‌رود. از آنجا که اندازه‌گیری دبی گازها در کارگاه هنرستان مشکل است، در این قسمت اندازه‌گیری دبی آب با اریفیس‌متر انجام می‌شود.

فعالیت کارگاهی

اندازه‌گیری جریان سیالات به‌وسیلهٔ صفحهٔ اریفیس متر

وسایل لازم:

۱ـ مخزن ذخیرهٔ آب؛

۲ـ پمپ (از نوع گریز از مرکز)؛

۳ـ شیر تنظیم کننده؛

۴ـ اریفیس‌متر؛

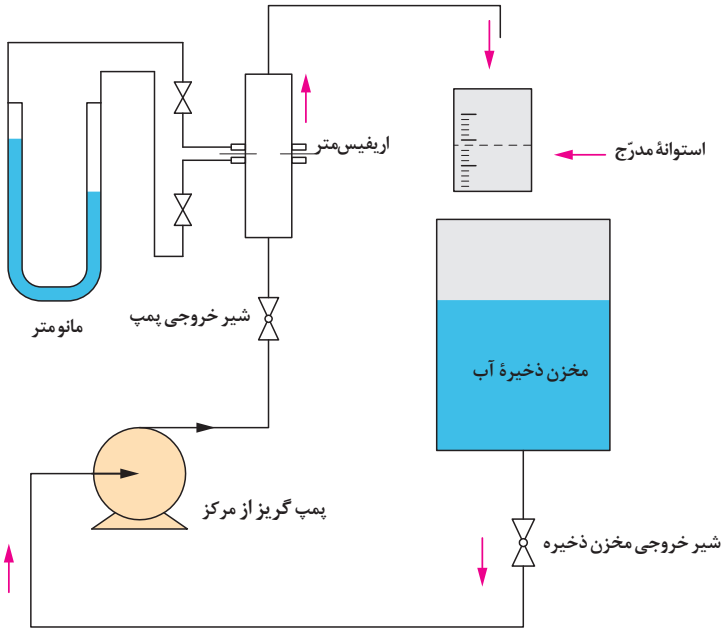
۵ـ استوانهٔ مدرّج؛

۶ـ زمان‌سنج؛

وسایل لازم:

ابتدا مداری بسته مانند شکل ۱۷ را تشکیل دهید. با اجازهٔ مربی خود، شیر خروجی پمپ را بسته، شیر خروجی مخزن ذخیره را باز کنید. پس از اینکه حجم آب درون مخزن ذخیره را به حدود ۸۰ درصد ظرفیت کل آن رساندید، پمپ را روشن کنید. شیر خروجی پمپ را آهسته و با احتیاط باز کنید. میزان کمی جریان آب را (مثلاً ۵ درصد کل جریان) در مدار برقرار کنید و صبر کنید تا ثابت شود. حال با کمک استوانهٔ مدرّج و زمان‌سنج، میزان دقیق جریان آب را (با سه بار تکرار و متوسط‌گیری نتایج) به‌دست آورید. در همین زمان اختلاف ارتفاع دو سر مانومتر خوانده و یادداشت شود. اطلاعات به‌دست آمده را در جدول (۳) یادداشت کنید.

۱ـ Concentric Orifice ۲ـ Eccentric Orifice ۳ـ Segmental Orifice



شکل ۱۷ــ طرح ساده‌ای از آزمایش اندازه‌گیری جریان سیال با استفاده از اریفیس‌متر

با استفاده از فرمول شکل ۱۸، پس از مقایسه، مقدار دبی سیال (Q°_{v}) را محاسبه و با مقدار دبی واقعی مقایسه کنید.
میزان ضریب تخلیه اریفیس‌متر (C) را از روی بدنهٔ دستگاه بخوانید. در صورت نبود این عدد آن را ۰/۸۷۸۲ در نظر بگیرید ($g=۹/۸\ (m/s^{۲})$).
اکنون با تغییر دادن شیر خروجی پمپ، مقدار جریان آب را بیشتر کنید و این کار را با تکرار آزمایش ادامه دهید.

روابط:

$$\text{دبی} = (\text{ضریب تخلیه})\ (\text{سطح مقطع اریفیس})\ \sqrt{\frac{۲(\text{اختلاف فشار})}{\text{چگالی}}}$$

$$Q^{\circ}_{v} = C.A_{\circ}.\sqrt{\frac{۲\Delta P}{d}}$$

$$C = \text{ضریب تخلیه}$$

شکل ۱۸ ــ فرمول محاسبهٔ دبی نظری سیال به وسیله اریفیس متر

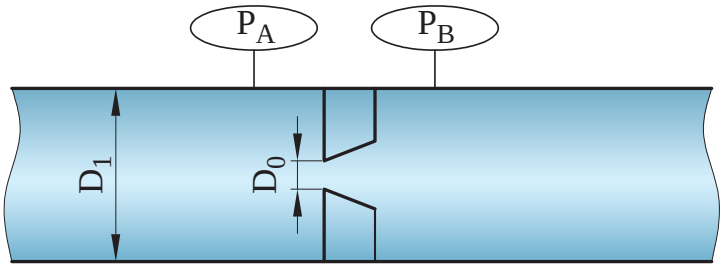
بنابراین:

$A_{\circ} = \frac{\pi D^{۲}}{۴} =$ سطح مقطع اریفیس‌متر $(m^{۲})$

$\Delta P = P_A - P_B$ اختلاف فشار (Pa)

$d = ۱۰۰^{\circ}$ چگالی آب $(kg/m^{۳})$

$\Delta P = dgh$



شکل ۱۹ــ اریفیس‌متر

جدول ۳ــ آزمایش اندازه‌گیری دبی سیال با استفاده از اریفیس‌متر

کمیت	زمان	حجم آب موجود در استوانه	دبی واقعی	اختلاف ارتفاع ستون جیوه	اختلاف فشار	دبی محاسبه شده به وسیلهٔ اریفیس	درصد خطا
نماد	t	V	Q_c°	Δh	ΔP	Q_v°	٪
واحد	ثانیه	سانتی‌متر مکعب	سانتی‌متر مکعب بر ثانیه	میلی‌متر جیوه	پاسکال	سانتی‌مترمکعب در ثانیه	

ونتوری‌متر

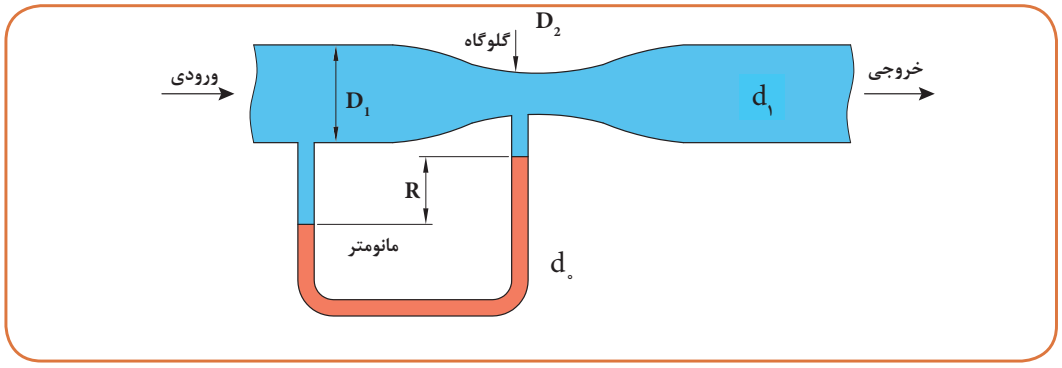
در این روش با استفاده از ونتوری‌متر در مسیر جریان، که باعث ایجاد اختلاف فشار می‌شود، میزان دبی اندازه‌گیری می‌گردد. ونتوری‌متر برای اندازه‌گیری دبی در لوله‌ها استفاده می‌شود. این وسیله همانند شکل ۲۰، از بخش‌های زیر تشکیل شده است:

۱ بخش ورودی جریان که قطر آن برابر قطر لوله است (D_1)؛
۲ قسمت مخروطی هم‌گرا؛
۳ گلوگاه استوانه‌ای (D_2)؛
۴ قسمت مخروطی با واگرایی تدریجی که نهایتاً اندازهٔ آن برابر با قطر لوله می‌شود (S_1)؛
۵ بخش خروجی جریان که قطر آن برابر قطر لوله است.

در قسمت هم‌گرا انرژی فشاری سیال به انرژی جنبشی تبدیل می‌گردد؛ زیرا سطح مقطع لوله به‌تدریج کم می‌شود. به دلیل ثابت بودن دبی حجمی سیال، سرعت آن افزایش پیدا می‌کند. در قسمت واگرا سطح مقطع لوله به‌تدریج زیاد می‌شود و در این حالت انرژی جنبشی به‌تدریج به انرژی فشاری تبدیل می‌گردد. واضح است که سرعت سیال در گلوگاه ونتوری از همهٔ نقاط بیشتر است. در هنگام عبور سیال از ونتوری‌متر انرژی کل آن کمی کاهش خواهد یافت. به هر حال افت فشار سیال در عبور از ونتوری متر مرتبط با دبی آن است.

برای اندازه‌گیری اختلاف فشار، یک مانومتر دیفرانسیلی که یک سر آن به بخش بالادست و یک سر آن به گلوگاه متصل است، لازم است.

اندازهٔ ونتوری‌متر با قطر لوله و گلوگاه آن مشخص می‌شود. برای مثال ونتوری ۶ در ۴ سانتی‌متر، یعنی قطر لوله ۶ سانتی‌متر و قطر گلوگاه ونتوری‌متر ۴ سانتی‌متر است.



شکل ۲۰ــ ونتوری‌متر با مانومتر دیفرانسیلی

شکل ۲۱ــ یک نمونه ونتوری‌متر صنعتی

فعالیت کارگاهی

اندازه گیری دبی سیال با ونتوری‌متر

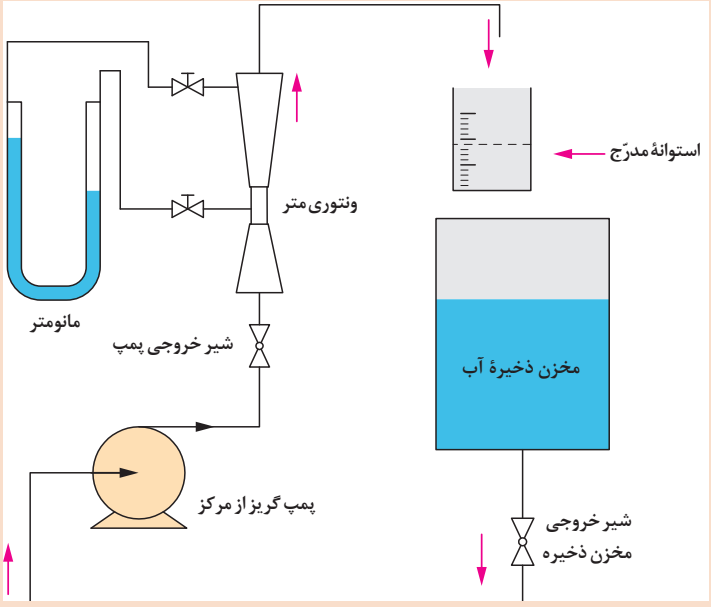
وسایل لازم:

1- مخزن ذخیرهٔ آب؛ ۲ـ پمپ (از نوع گریز از مرکز)؛ ۳ـ شیر تنظیم‌کننده؛
۴ـ ونتوری‌متر؛ ۵ـ استوانهٔ مدرّج؛ ۶ـ زمان‌سنج دقیق.

روش کار: ابتدا مداری بسته مانند شکل ۲۲ را تشکیل دهید. با اجازهٔ مربی خود، ابتدا شیر خروجی پمپ را ببندید و شیر خروجی مخزن ذخیره را باز کنید. پس از اینکه حجم آب درون مخزن ذخیره را به حدود ۸۰ درصد ظرفیت کل آن رساندید، پمپ را روشن کنید. شیر خروجی پمپ را آهسته و با احتیاط باز کنید. میزان کمی جریان آب را (مثلاً ۵ درصد کل جریان) در مدار برقرار ، و صبر کنید تا ثابت شود.

فعالیت کارگاهی

حال با کمک استوانهٔ مدرّج و زمان‌سنج میزان دقیق جریان آب را (با سه بار تکرار و متوسط‌گیری نتایج) به دست آورید. در همین زمان اختلاف ارتفاع دو سر مانومتر خوانده و یادداشت گردد. اطلاعات به‌دست آمده را در جدول ۴ یادداشت کنید.



شکل ۲۲ــ طرح ساده ای از آزمایش اندازه‌گیری دبی سیال با ونتوری متر

با فرمول‌های شکل ۲۳ مقدار دبی سیال (Q_v°) را محاسبه و با مقدار دبی واقعی مقایسه کنید.

میزان ضریب تخلیهٔ ونتوری متر (C) را از روی بدنهٔ دستگاه بخوانید. در صورت نبود این عدد، آن را ۰/۹۸۲۷ در نظر بگیرید، ($g = ۹/۸\ (m/s^۲)$ و $\gamma = d \times g$).

اکنون با تغییر دادن شیر خروجی پمپ، مقدار جریان آب را بیشتر کنید و این کار را با تکرار آزمایش ادامه دهید.

$$\text{دبی} = (\text{ضریب تخلیه})\ (\text{سطح مقطع و نتوری}) \sqrt{\frac{(۲)(\text{شدت جاذبه})\left(\frac{\text{اختلاف فشار}}{\text{شدت جاذبه} \times \text{چگالی}}\right)}{۱-\left(\frac{\text{قطر و نتوری}}{\text{قطر لوله}}\right)^۴}}$$

$$Q_v^\circ = C.A_۲ \sqrt{\frac{۲g(\frac{\Delta P}{\gamma})}{۱-(\frac{D_۲}{D_۱})^۴}}$$

شکل ۲۳ــ فرمول محاسبهٔ دبی حجمی سیال به وسیلهٔ ونتوری متر

یادآوری

روابط داده شده برای محاسبه در کارگاه استفاده می‌شود و نیازی به حفظ کردن آن نیست.

جدول ۴ـ آزمایش اندازه‌گیری دبی سیال با استفاده از ونتوری‌متر

کمیت	زمان	حجم آب درون استوانه	دبی واقعی	اختلاف ارتفاع دو سر مانومتر	اختلاف فشار	دبی محاسبه شده ونتوری‌متر	درصد خطا
نماد	t	V	Q_c°	Δh	ΔP	Q_v°	٪
واحد	ثانیه	سانتی‌متر مکعب	متر مکعب بر ثانیه	میلی‌متر جیوه	پاسکال	متر مکعب بر ثانیه	

جریان‌سنج گاز

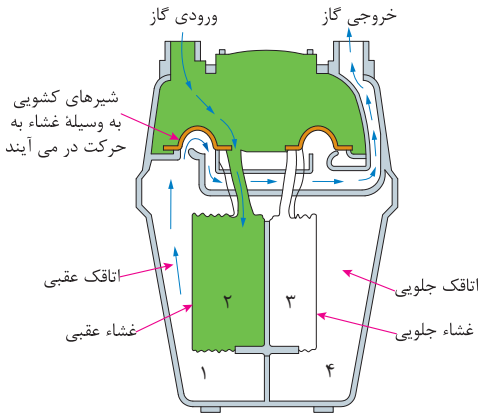
پرسش

پس از انقلاب اسلامی، تقریباً به همه شهرها و روستاهای کشور گازرسانی شده است. در نتیجه، تصویر آشنای زیر در همه جای ایران دیده می‌شود. آیا می‌دانید که نام این دستگاه چیست و چه کاری انجام می‌دهد؟

با اینکه بسیاری از جریان سنج‌های مایعات را برای اندازه‌گیری‌های گازها و بخارها می‌توان استفاده کرد، امّا تجهیزاتی اختصاصی برای اندازه‌گیری جریان گازها هم وجود دارند که با آنها آشنا می‌شویم. نکتهٔ مهم در مورد گازها و بخارها این است که برای دانستن میزان جریان، باید دما و فشارآنها هم معلوم باشد. لذا غالباً این میزان برای $15^{\circ}C$ و فشار یک جو اعلام می‌گردد. این پیچیدگی به خاطر خاصیت تراکم‌پذیری گازها و بخارها است. برای اندازه‌گیری جریان گاز طبیعی چند روش وجود دارد،که درادامه دو روش آن توضیح داده می‌شود.

۱ـ روش خشک:

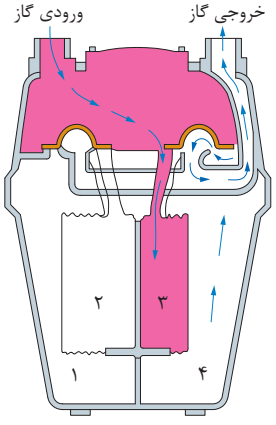
در روش خشک، از یک محفظهٔ فلزی (جریان‌سنج یا اصطلاحاً کنتور گاز) استفاده می شود که یک صفحهٔ نازک فلزی و افقی فضای داخلی آن را به دو قسمت بالایی و پایینی تقسیم کرده است. قسمت پایینی هم به‌وسیلهٔ یک «صفحهٔ جداکنندهٔ وسط» به دو قسمت متقارن تقسیم گشته است. با دانستن طرز عملکرد یک قسمت، عملکرد کل کنتور مشخص می‌گردد. در قسمت پایینی کنتور، یک غشاء لاستیکی یا چرمی، اتاقک فانوسی (شکل ۲۴) را با حجم مشخص تشکیل داده، از بقیهٔ محفظهٔ پایینی (بخش۱) مجزا کرده است. یک صفحهٔ مدوّر در سطح بیرونی اتاقک قرار دارد. در بخش بالایی کنتور دو شیر کشویی ورود و خروج گاز (به رنگ نارنجی) قرار دارند که به یکدیگر متصل بوده، با هم حرکت می‌کنند. این شیر با یک اهرم به چپ یا راست حرکت می‌کند. با حرکت هر شیر، مسیرهای ورود و خروج گاز اتاقک مربوطه به نوبت باز و بسته می‌گردد.



شکل ۲۴ـ مرحلهٔ اول کار یک کنتور گاز خانگی

■ **مرحلهٔ اول:** ابتدا (که مثلاً شیر در سمت چپ کنتور قرار دارد)، فشار ورودی کنتور، گاز را از ورودی به داخل اتاقک ۲ می‌راند؛ یعنی اتاقک ۲ با فشار گاز پر می‌شود. این فشار سبب می‌گردد که صفحهٔ مدوّر روی اتاقک عقب (شمارهٔ ۲) از «صفحهٔ جداکنندهٔ وسط» دور شود (مسیر سبز رنگ). همچنین، گاز داخل محفظهٔ ۱ از خروجی کنتور به بیرون برود.

■ **مرحلهٔ دوم:** پس از رسیدن صفحهٔ مدوّر اتاقک عقبی به انتهای مسیر خود، اهرم جابه‌جا کنندهٔ شیرها به وسیلهٔ این صفحهٔ مدوّر به‌کار می‌افتد و در نتیجه، شیر مذکور به سمت راست رانده می‌شود. با این کار، شیر کشویی سمت چپ، مسیر ورود گاز به اتاقک ۲، و هم‌زمان مسیر خروج گاز از محفظهٔ ۱ به بیرون را می‌بندد. هم‌زمان، شیر کشویی سمت راست، مسیر ورود گاز به اتاقک ۳ (قرینهٔ اتاقک ۲) و نیز مسیر خروج گاز از محفظهٔ ۴ (قرینهٔ محفظهٔ ۱) به خروجی کنتور را باز می‌کند (مسیر قرمز رنگ). در پایان این مرحله، اتاقک ۳ پر از گاز شده است و صفحهٔ مدوّر آن به انتهای مسیر خود رسیده است.

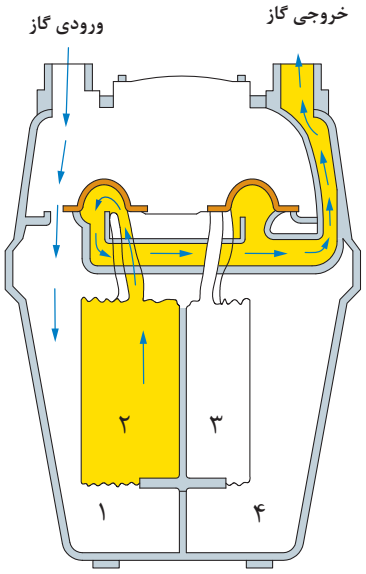


شکل ۲۵ـ مرحلهٔ دوم کار یک کنتور گاز خانگی

گاز موجود در محفظهٔ ۴ هم از خروجی کنتور به بیرون رفته است. شیرهای کشویی به وسیلهٔ اهرم مربوط به صفحهٔ مدوّر اتاقک ۳، و یک بار دیگر به (منتهی‌الیه) سمت راست حرکت می‌کنند. در نتیجه، مسیر ورودی گاز به محفظهٔ ۱ و خروج گاز از اتاقک ۲ به خروجی کنتور باز می‌شود. همچنین خروجی‌های اتاقک ۳ و محفظهٔ ۴ بسته می‌شود.

■ **مرحلهٔ سوم :** محفظهٔ ۱ پر از گاز می‌شود و گاز موجود در اتاقک ۲ از خروجی کنتور به بیرون می‌رود. پس از پایان این مرحله، شیرها توسط صفحهٔ مدوّر اتاقک ۲ (که این بار به سمت «صفحهٔ جداکنندهٔ وسط» بسیار نزدیک می‌شود)، و اهرم مربوطه، یک بار دیگر کاملاً به (منتهی‌الیه) سمت چپ رانده می‌شوند (مسیر زرد رنگ). درنتیجه، ورودی گاز به اتاقک ۲ و خروجی گاز از محفظه ۱ باز می‌شود.

از این لحظه به بعد مراحل فوق دوباره تکرار می‌گردد. یک ساز و کار مکانیکی، حرکت متناوب دو شیر کشویی را به شمارندهٔ کنتور وصل می‌کند. چون حجم اتاقک‌ها و محفظه‌ها دقیقاً مشخص است، میزان گاز طبیعی مصرف شده متناسب با دفعات پر و خالی شدن آنها به دست می‌آید. توجه داشته باشید که فشار گاز طبیعی در لوله‌کشی تأمین‌کنندهٔ آن، در میزان معینی و به طور پیوسته به وسیلهٔ ابزار دقیق مربوطه تنظیم و تثبیت می‌گردد. استفاده از دو اتاقک، به میزان زیادی نوسانات جریان گاز خروجی از کنتور را حذف می‌کند.

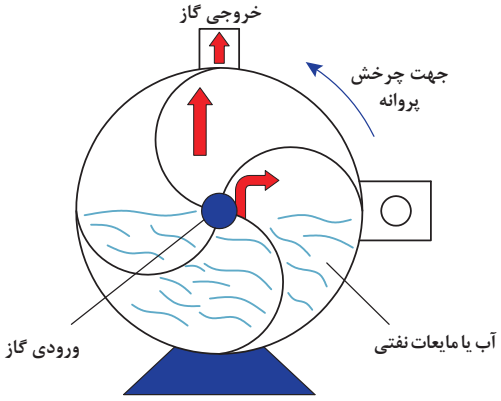


شکل ۲۶ـ مرحلهٔ سوم کار یک کنتور گاز خانگی

۲ـ روش تر:

روش دوم، روش تر نامیده می‌شود. جریان‌سنج یک محفظهٔ (خارجی) است که شامل یک محفظهٔ استوانه‌ای دوّار داخلی با چند پره است. محفظهٔ دوّار داخلی می‌تواند آزادانه به دور محور افقی خود بچرخد. وقتی دستگاه تا سطح معینی از مایع (غالباً آب) پر شود، این مایع، آب‌بندی فضاهای ما بین پره‌ها را انجام می‌دهد. هر فضای بین پره‌ها ضمن چرخش محفظهٔ دوّار داخلی، مرتباً پر و خالی می‌گردد. گاز مورد اندازه‌گیری، از داخل محور دوران دستگاه وارد یکی از فضاهای پر از مایع می‌شود. با این کار آن را خالی از مایع و خیلی سبک‌تر می‌کند. در نتیجه، محفظهٔ دوّار داخلی آن‌قدر می‌چرخد که آن فضا کاملاً از مایع خارج گردد. گاز آزاد شده هم از خروجی بالای دستگاه به بیرون می‌رود. با ادامهٔ ورود گاز به فضای بعدی، چرخش محفظهٔ دوّار داخلی به همین ترتیب ادامه می‌یابد. در واقع، این کار نوعی «پیمانه کردن» گاز مذکور است. چون حجم این فضاها و سطح مایع دقیقاً مشخص است، حجم عبوری گاز به دقت اندازه‌گیری می‌شود که به سرعت دورانی محفظهٔ داخلی بستگی دارد. یک شمارنده نیز مجموع حجم عبوری گاز را در هرلحظه نشان می‌دهد.

شکل ۲۷ــ نمای بیرونی جریان‌سنج گاز به روش‌تر
(که در آزمایشگاه‌ها کاربرد دارد ــ با یکای لیتر بر ثانیه)



شکل ۲۸ــ نمای درونی جریان‌سنج
گاز به روش‌تر

تمرین کنید

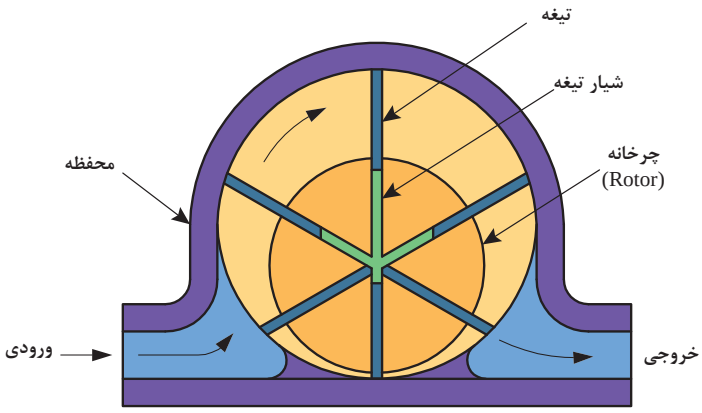
شرکت نفت ایران در حدود سال ۱۳۴۹ شمسی تصمیم گرفت که جریان‌سنج‌های خطوط لولهٔ صادرات نفت خام خود را از نوع صفحهٔ منفذدار (اریفیس) به نوع جا به جایی مثبت (شکل ۳۱) تغییر دهد. هدف از این کار کاهش خطای اندازه‌گیری بود. با توجه به آنچه که تاکنون خوانده‌اید و در گروه‌های دو نفره، میزان ظرفیت و نیز خطای اندازه‌گیری یک درصد را برای دو مورد زیر به دست آورید و آنها را در یک جدول با هم مقایسه کنید.

مورد اول: کشتی‌های نفت‌کش اقیانوس‌پیما بزرگ‌ترین شناورهای موجود جهان هستند. برای نمونه یکی از آنها که ۴۵۸ متر طول دارد، می‌تواند ۲۸۰۸۵۰ تن نفت خام را حمل کند. چگالی نسبی این نوع نفت خام را ۰/۸۵ فرض کنید. اگر هر بشکهٔ نفت خام ۱۵۹ لیتر باشد، این میزان ظرفیت چند بشکه، چند مترمکعب ، چند لیتر و چند گالن است؟

مورد دوم: یک کامیون نفت‌کش شهری، ۲۸۰۰۰ لیتر ظرفیت دارد. با فرض استفاده از نفت خام با چگالی نسبی ۰/۸۵ ، این میزان ظرفیت چند تن، چند بشکه، چند مترمکعب و چند گالن است؟

شکل ۲۹ــ کشتی نفت‌کش اقیانوس پیما

شکل ۳۰ــ کامیون نفت‌کش شهری



شکل۳۱ـ جریان سنج نوع جابه‌جایی مثبت

تحقیق کنید

با استفاده از شبکهٔ جهانی اینترنت و در گروه‌های دو تا سه نفره، دو جدول در مورد انواع جریان‌سنج مایعات و گازها تشکیل دهید که حاوی اطلاعات خلاصه شده‌ای از کاربردها و موارد مربوط به هریک در صورت امکان با یک تصویر از هر کدام باشد، سپس نتایج خود را با یکدیگر مقایسه کنید.

کنترل دبی جریان

در صنایع شیمیایی با انواع فرایندها سروکار داریم، اما غالباً بسیاری از اجزای آنها مشابه یا حتی مشترک‌اند. مثلاً برای تنظیم جریان سیالات بسیاری از تجهیزات مانند تلمبه‌های اندازه‌گیری، پره‌ها و تنظیم‌کننده‌های سرعت چرخش محرکه‌ها[1] به کار می روند، امّا ساده‌ترین و متداول‌ترین آنها شیرها هستند. عملکرد شیر در تنظیم جریان سیالات عبارت است از ایجاد یک مقاومت بر سر راه جریان سیال. مثلاً برای حفظ کیفیت محصول در یک واحد شیمیایی، کمترین کار ثابت نگهداشتن میزان جریان خوراک ورودی واحد است. به این منظور لازم است که:

۱- ابتدا از میزان جریان خوراک در هر لحظه مطلع شویم. پس باید یک جریان‌سنج را در مسیر خوراک نصب کنیم (اندازه گیری).

۲- همچنین باید از میزان مقرر برای جریان خوراک مطلع باشیم تا در صورت کم یا زیاد شدن جریان خوراک آن را جبران کنیم (مقایسه).

۳- برای تغییر میزان جریان باید (حداقل) از یک شیر استفاده کنیم. اما استفاده از شیر نیاز به یک شخصی دارد که در تمام لحظات آماده و هوشیار باشد (کنترل کننده). روشن است که نتیجهٔ مقایسه باید دائماً به او اطلاع داده شود. بدیهی است که ادامهٔ این کار برای نیروی انسانی بسیار خسته‌کننده و دشوار است. به علاوه، برای تعداد زیاد متغیرهای فرایندی در واحد شیمیایی مورد نظر، افراد زیادی لازم است که جمع دستمزد آنها ممکن است فرایند را غیر اقتصادی کند. به این دلیل برای ایجاد قابلیت تنظیم خودکار در فرایند ها از وسیله ای به نام شیر کنترل استفاده می کنیم.

۱ـ Motors

شیر کنترل خودکار

وسیله‌ای است که با اعمال نیرویی غیر از نیروی دست عمل کرده، میزان جریان را در سامانه تنظیم می‌کند. این وسیله شامل یک شیر است و توانایی تغییر در عامل تنظیم‌کنندهٔ سیال را دارد. این تجهیز بسیار مهم بوده، بخش قابل توجهی از مخارج سرمایه‌ای اولیه واحدهای فرایندی را تشکیل می‌دهد. نیروی محرکه برای کار این شیر می‌تواند هوای فشرده، برق، فشار روغن (هیدرولیکی)، یا حتی ترکیبی از آنها باشد. نمونه‌ای از شیرهای با محور کشوئی[1] و شیرهای با محور چرخان[2] در شکل های ۳۲و ۳۳ آورده شده است.

شکل ۳۲ - شیرکنترل با محور کشوئی

شکل ۳۳ - شیرکنترل با محور چرخان

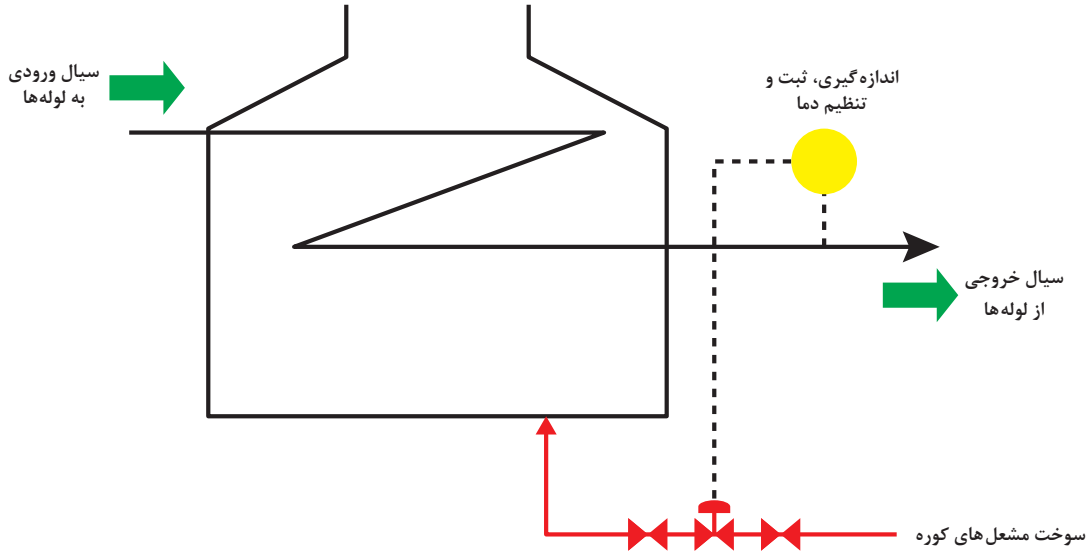
متغیرهای مهم در انتخاب نوع و اندازهٔ شیرهای کنترل

این متغیرها عبارت‌اند از: نوع وظیفهٔ مورد نظر (قطع و وصل جریان سیال، کم و زیاد کردن پیوسته آن، بستن سریع و غیره)، فشار عملیاتی، دمای عملیاتی، قابلیت خوردگی سیال نسبت به آن، گران‌روی سیال، قیمت خرید، قابلیت تعمیراتی کم‌هزینه، نشتی‌های مجاز، افت فشار، بیشترین جریانی که می‌تواند از خود عبور دهد و مانند آنها.

در مواقع راه‌اندازی و بستن واحدهای شیمیایی (یعنی خاموش‌کردن کارخانه برای انجام تعمیرات سالیانه یا بروز نقص‌های پیش‌بینی نشده مانند قطع برق، آب، آتش‌سوزی و غیره) نیز، عملکرد برخی از متغیرها با عملیات پایا[1] (یکنواخت) واحد متفاوت یا حتی متضّاد است. در نتیجه، معمولاً این کار به عهدهٔ متصدی واحد[2] گذارده می شود. به عنوان مثالی از تفاوت یا تضاد رفتار برخی از متغیرها در مواقع راه‌اندازی و بستن واحدهای شیمیایی، می‌توان شیر تنظیم سوخت مصرفی کوره‌های احتراقی را ذکر کرد.

۱ـ Sliding Stem ۲ـ Rotary Shaft

در حالت عملیات فرایندی پایا، این شیر اندکی باز است. با کاهش دمای سیال خروجی کوره (یا افزایش جریان ورودی آن) سوخت بیشتری را به مشعل‌های کوره می‌فرستد.
در صورتی که هنگام راه‌اندازی واحد، کوره سرد است و اگر این شیر در وضعیت عملکرد خودکار باشد، کاملاً باز شده، کوره را با مقدار بسیار زیاد سوخت به آتش یا انفجار خواهد کشید. به این دلیل، چنین مواردی بر عهدهٔ انسان گذارده می‌شود. به بیان دیگر، شیر تنظیم سوخت باید در حالت تنظیم دستی توسط متصدی دستگاه قرار گیرد. در حالی که کارهای پیچیده، دشوار، یا نیازمند به واکنش سریع و دقیق را به خوبی و با ایمنی بیشتر می‌توان با تنظیم هوشمند انجام داد.



شکل ۳۴ ـ شیر کنترل خودکار تنظیم‌کنندهٔ سوخت مشعل‌ها، درکوره‌های فرایندی

فعالیت کارگاهی

کنترل دستی دبی شیرآب کارگاه

وسایل لازم:
استوانهٔ مدرّج
زمان‌سنج
روش کار:
با تنظیم دستی شیر آب کارگاه، دبی آب خروجی را روی ۰/۶ لیتر بر دقیقه تنظیم و کنترل کنید.

۱ـ Steady State ۲ـ Operator

ارزشیابی شایستگی اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دبی سیال

شرح کار:

چگونگی استفاده از تجهیزات کارگاهی را بداند و کار داده شده را با دقت انجام دهد.
هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند.
پس از انجام کار وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.

استاندارد عملکرد:

به کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری شدت جریان دبی مایعات و گازها و کنترل دبی سیال مطابق دستور کار

شاخص ها:

- رعایت مسائل ایمنی هنگام کار
- انجام کار طبق دستور کار

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط: مکان کارگاه
شرایط دستگاه: آماده به کار
زمان: یک جلسهٔ آموزشی
ابزار و تجهیزات: زمان‌سنج، استوانهٔ مدرّج، پمپ (از نوع گریز از مرکز)، شیر تنظیم‌کننده، روتامتر، اریفیس‌متر، ونتوری متر

معیار شایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	کمترین نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	به کارگیری مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری دبی	۱	
۲	اندازه‌گیری دبی مایعات	۲	
۳	اندازه‌گیری دبی گازها	۱	
۴	کنترل دبی سیال	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: **۱ـ ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی** **۲ـ نگرش: صرفه‌جویی در مصرفی** **۳ـ توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط‌زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش** **۴ـ شایستگی‌های غیر فنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای ۲- مدیریت منابع ۳- محاسبه و کاربست ریاضی** **۵ـ مستندسازی: گزارش‌نویسی**	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.