

## 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 کمیت‌ها می‌باشد. یکی از مهم‌ترین کمیت‌ها 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 اهمیت به کارگیری محاسبات در اندازه‌گیری دبی جریان مایعات و گازها، انواع و شیوه 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 - انجام وظایف و کارهای محوله - پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به کار به موقع - مدیریت مؤثر زمان - استفاده از مواد و تجهیزات
- ۳ کار گروهی: حضوری فعال در فعالیتهای گروهی - انجام کارها و وظایف محوله
- ۴ مستندسازی: گزارش نویسی فعالیتهای کارگاهی
- ۵ محاسبه و کاربست ریاضی

#### پس از اتمام این واحد یادگیری هنر جوان قادر خواهند بود

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

## اندازه گیری مقدار سیالات

بحث گروهی



آیا این مکان را می شناسید؟ آیا می دانید که این دستگاه چیست؟



(ب)



(الف)

بشر با اندازه گیری بسیاری از کمیت ها، توانسته است در اداره امور زندگی خود نظم و ترتیب برقرار کند که نتیجه آن پیشرفت در زمینه های مادی، مالی، علمی، فنی و به دنبال آنها در زمینه های اجتماعی و اقتصادی است. نیاز بشر به زندگی در اجتماع و بیشتر شدن خواسته های او پیوسته، اهمیت این کار را بیشتر می کند. بنابراین، ضروری است که به «اندازه گیری» و نقش آن در صنایع شیمیایی نگاهی دقیق تر داشته باشیم.

یکی از عوامل پیشرفت بشر «کمی کردن» و «اندازه گیری» موضوعات مطرح در زندگی روزانه او بوده است.

## شدت جریان (دبی)

### چند تعریف

#### ■ سیال:

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

#### ■ گرانروی

خاصیتی است که سبب مقاومت سیال در برابر جریان یافتن می شود. به بیان دیگر، گرانروی به اصطکاک داخلی مولکول های سیال با یکدیگر گفته می شود.

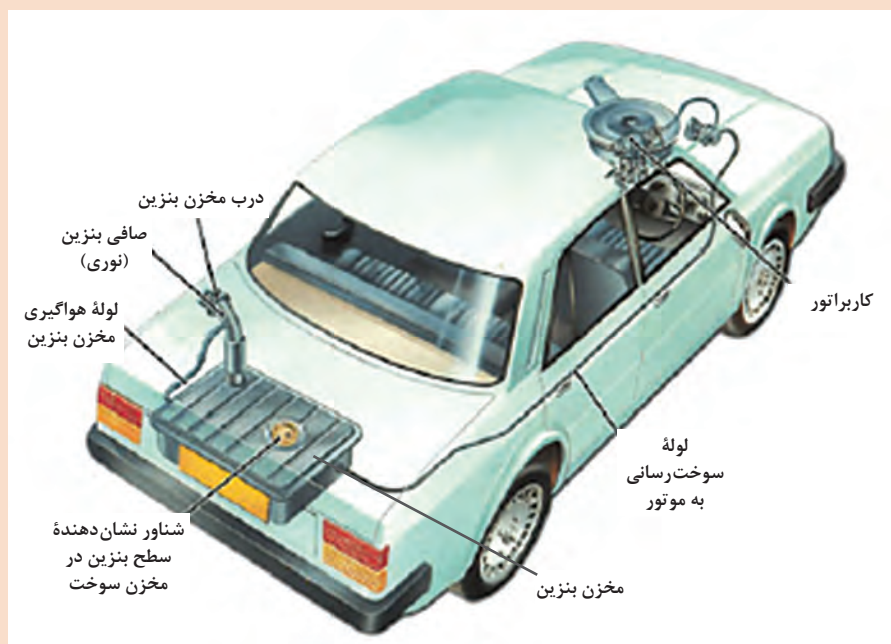
## دبی یا شدت جریان سیال

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 کمیت فیزیکی است که نتیجه جاری شدن سیال می‌باشد. جریان پذیری 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 اولیه سازنده آن بستگی دارد. این نسبت، از اندازه‌گیری شدت جریان آنها مشخص می‌گردد. گاهی هم اندازه‌گیری و تنظیم یک کمیت، برای تنظیم و مدیریت یک کمیت 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 به دست آوریم.

پرسش



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



شکل ۱- جایگاه مخزن بنزین در خودرو



آیا می دانید که مقدار نفت خام تحویل شده به کشتی های نفت کش اقیانوس پیما (شکل ۲) را چگونه اندازه گیری می کنند؟



شکل ۲ - یک نمونه کشتی نفت کش اقیانوس پیما

## انواع دبی

پیش تر گفتیم که در بسیاری از صنایع و کاربردهای فنی، دانستن کمیت یک جریان عبوری سیال از برخی تجهیزات در واحد زمان، ضروری است؛ به این کمیت دبی گفته می شود.

حتماً دیده اید که بنزین موتور بر حسب لیتر (یعنی به صورت حجمی) فروخته می شود؛ اما از کپسول های گاز مایع با عنوان «کپسول هجده کیلویی» (یعنی به صورت جرمی) نام برده می شود. آیا می دانید چرا؟

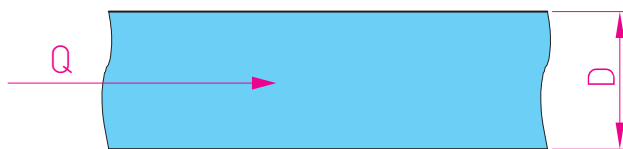


معمولاً دو نوع دبی به کار می رود: دبی حجمی و دبی جرمی.

### دبی حجمی (Q)

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

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

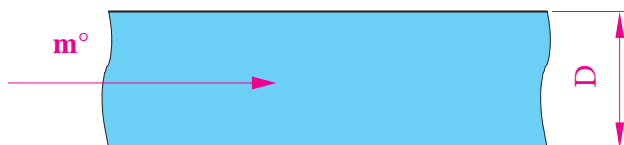


شکل ۳ - نمایشی از دبی حجمی در خط لوله (Q: دبی حجمی سیال و D: قطر خط لوله)

## دبی جرمی ( $m^\circ$ )

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

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



شکل ۴ - نمایشی از دبی جرمی در خط لوله ( $m^\circ$ : 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  $m^\circ$  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 جریان سنج یا دبی سنج 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 سامانه واحدهای بین‌المللی SI، از یکای «مترمکعب بر ثانیه ( $m^3/s$ )» برای دبی حجمی و یکای «کیلوگرم بر ثانیه ( $kg/s$ )» برای دبی جرمی استفاده می‌شود.

$$\begin{aligned} \text{مترمکعب} &= \frac{m^3}{s} \\ \text{واحد دبی حجمی} &= \frac{\text{مترمکعب}}{\text{ثانیه}} \\ \text{کیلوگرم} &= \frac{kg}{s} \\ \text{واحد دبی جرمی} &= \frac{\text{کیلوگرم}}{\text{ثانیه}} \end{aligned}$$

در سامانه‌های انگلیسی (FPS) از یکای فوت مکعب بر ثانیه ( $\text{ft}^3/\text{s}$ ) 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

یکها برای بیان اندازه‌گیری کمیت‌های مورد نظر به کار می‌روند. یکنواختی یکاها، در ارتباطات و تبادلات علمی، فنی، اقتصادی، فرهنگی و غیره درون کشورها و بین کشورها اهمیت 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 پیشرفته‌تر دستگاه متریک برای سنجش کمیت‌ها است. دستگاه SI در چند کمیت اصلی مانند طول، جرم و زمان با دستگاه متریک مشترک است؛ اما در بسیاری از کمیت‌های اصلی و فرعی دیگر با آن تفاوت دارد؛ مانند درجه‌های کلوین و سلسیوس برای دما، یا ژول و کیلوکالری برای انرژی. در نتیجه لازم است که با تبدیل یکاها آشنایی کافی داشته باشیم.

مثال



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

$$\text{حجم مخزن} = 45 \text{ L} \times \frac{1 \text{ Gal}}{4.5 \text{ L}}$$

$$\text{حجم مخزن} = 10 \text{ Gal}$$

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<sup>۱</sup>

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

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

$$\text{Re No} = \frac{d \cdot V \cdot D}{\mu} \quad \text{مخزن}$$

**جریان آرام:** هرگاه عدد رینولدز از رقم ۲۰۰۰ کمتر باشد، جریان را «آرام» می‌نامیم.  
**جریان آشفته:** سیالات با عدد رینولدز بیش از ۴۰۰۰ را «جریان آشفته» می‌گویند.  
**جریان گذرا<sup>۲</sup>:** محدوده 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.

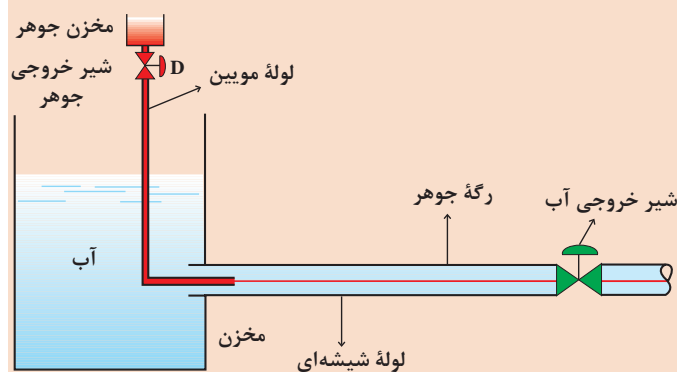
فعالیت  
کارگاهی



### محاسبه میزان دبی و تعیین نوع جریان

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

- ۱- مخزن شیشه‌ای
- ۲- لوله موئین و مخزن جوهر
- ۳- لوله شیشه‌ای خروجی از مخزن
- ۴- شیرهای قطع و وصل جریان



### روش کار

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

۱- Reynolds Number

۲- Transition Flow



۸- به ازای دبی های مختلف عدد رینولدز را محاسبه کنید و در جدولی یادداشت کنید. تغییرات رژیم جریان بر اثر افزایش عدد رینولدز در این آزمایش به خوبی قابل مشاهده است. در حقیقت محدوده جریان های آرام و آشفته به وسیله این آزمایش مشخص خواهد شد. در این فعالیت، که در دمای محیط انجام می پذیرد از مقدارهای زیر برای انجام محاسبات استفاده نمایید:

$$\begin{aligned} \text{گرانروی آب:} & 8/94 \times 10^{-4} \text{ (Pa.s)} \\ \text{چگالی آب:} & 997/1 \text{ (kg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

**محاسبه ضریب اصطلاک در جریان آرام**  
معمولاً برای جریان آرام از معادله زیر استفاده می شود:

$$\text{ضریب اصطکاک} = \frac{64}{\text{عدد رینولدز}}$$

$$f = \frac{64}{\text{Re No}}$$

- با استفاده از جدول بالا، ضریب اصطلاک جریان های آرام را محاسبه کنید.

### تغییرات گرانروی

در محدوده جریان آرام ( $Re < 2000$ ) بر اساس معادله زیر می توان اثر دما را بر گرانروی سیال پیدا کرد. از این معادله می توان گرانروی سیال را در محدوده جریان آرام پیدا کرد.

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

$$\mu = \frac{\Delta P \cdot \pi \cdot D^4}{128 \cdot Q \cdot L}$$

(معادله گرانروی نیازی به حفظ کردن ندارد.)

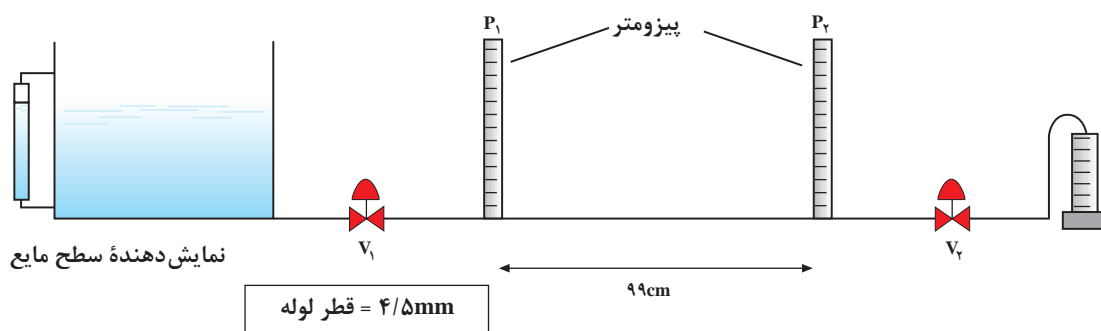
(با اندازه گیری اختلاف فشار در دبی های مختلف از طریق پیزومتر و در حالت سرعت ثابت در دماهای مختلف گرانروی محاسبه خواهد شد.)

### مراحل کار:

- ۱- شیرهای  $V_1$  و  $V_2$  (مطابق شکل صفحه بعد) را بسته نگاه دارید و تانک ذخیره را پر کنید.
- ۲- شیر  $V_1$  را باز کرده  $V_2$  را همچنان بسته نگاه دارید.
- ۳- به وسیله یک المنت برقی مجهز به ترموستات آب را تا  $40^\circ$  درجه سلسیوس گرم کنید.
- ۴- شیر  $V_2$  را باز کنید تا جریان آرام برقرار شود.
- ۵- زمان لازم برای پر شدن  $50$  میلی لیتر از استوانه مدرج را اندازه گیری کنید.



۶- مراحل «۳» الی «۵» را برای دماهای  $۴۵^{\circ}\text{C}$ ،  $۵۰^{\circ}\text{C}$  و  $۵۵^{\circ}\text{C}$  و  $۶۰^{\circ}\text{C}$  تکرار نمایید.  
 ۷- جدول (۱) را تکمیل کنید و در دماهای مختلف گرانیوی سیال را پیدا نمایید.



جدول ۱ تغییرات گرانیوی با دما

	$۴۰^{\circ}\text{C}$	$۴۵^{\circ}\text{C}$	$۵۰^{\circ}\text{C}$	$۵۵^{\circ}\text{C}$	$۶۰^{\circ}\text{C}$
زمان (ثانیه)					
حجم پر شده (ml)					
اختلاف ارتفاع (cm)					
گرانیوی					

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

پرسش



## روش های اندازه گیری دبی مایعات

بحث گروهی



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



(پ)



(ب)



(الف)

در اندازه گیری میزان جریان سیال به چند روش اشاره می شود:

- ۱ روش مستقیم توزینی: این روش، معمولاً برای مایعات غیر فزّار مثل آب به کار می رود، به این صورت که زمان لازم برای جمع آوری مقدار معینی مایع در یک ظرف را اندازه می گیرند و سپس مایع جمع آوری شده را به دقت وزن کرده و دبی را محاسبه می کنند.
- ۲ اندازه گیری مستقیم حجم با پیمانانه هنگام فروش مایعات در خرده فروشی (نفت، شیر و مانند آن)
- ۳ اندازه گیری به کمک پمپ های جابه جایی مثبت<sup>۱</sup>، کنتورهای آب و گاز
- ۴ روش اثرات مقاومت سیال یا روش سطح متغیر (در روتامترها)
- ۵ روش اندازه گیری به کمک انسداد جریان با استفاده از وسایل: صفحه منفذدار یا اریفیس متر، نازل و ونتوری متر

روش های مورد استفاده در اندازه گیری دبی مایعات بسیار متنوع هستند. ویژگی های سیال مانند جنس، گران روی و فشار بخار، دما، هدایت الکتریکی، مقدار جامد معلق در سیال و .... از جمله عواملی هستند که نوع روش را مشخص می کند.

فعالیت  
کارگاهی



با استفاده از یک استوانه مدرّج و کرنومتر (زمان سنج)، دبی حجمی و جرمی شیر آب کارگاه هنرستان خود را، در حالت های مختلف، محاسبه کنید.

ساخت یک جریان سنج آب (از نوع منفذدار و به روش مستقیم)  
وسایل لازم:

- ۱- یک بطری پلاستیکی شفاف (مانند بطری آب معدنی)
- ۲- زمان سنج
- ۳- استوانه مدرّج

### روش کار :

بالای بطری پلاستیکی را ببرید تا یک ظرف استوانه‌ای دهان‌گشاد به‌دست آید. در پایین سطح جانبی آن (مثلاً به فاصله 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 مدرج جمع‌آوری شود. بطری را زیر شیر آب بگذارید؛ پس از مدت کمی، سطح آب جمع‌شده 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



استوانه مدرج



زمان‌سنج

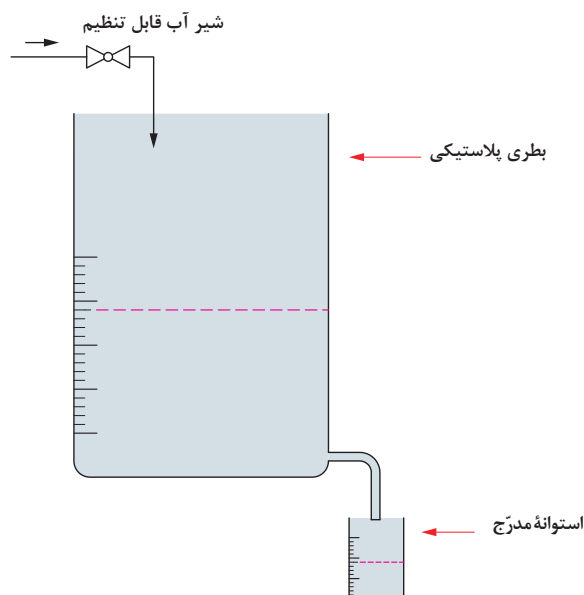


بطری پلاستیکی شفاف

شکل ۵ - وسایل اندازه‌گیری دبی حجمی

مقادیر مختلف جریان و به همین صورت، یک جریان سنج ساده آب (از نوع منفذدار) و به روش 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.

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.

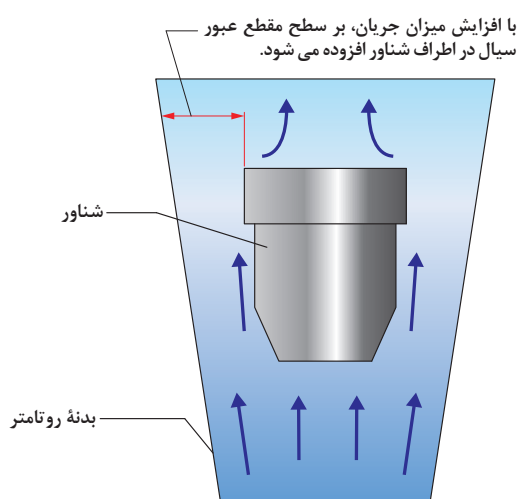


شکل ۶ - طرح ساده‌ای از آزمایش جریان سنج آب

## 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 (به صورت مخروط ناقص وارونه) تشکیل شده است (شکل ۷). شناور در داخل ظرف قرار دارد. نصب بدنهٔ روتامتر به صورت عمودی و جریان سیال از پایین به بالاست. با جریان یافتن سیال، شناور براساس نیروی رانش سیال به صورت 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 مدرج 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 به دست آورد. جنس شناور غالباً فلزی بوده، در اشکال گوناگونی ساخته می‌شود. مقادیر قابل اندازه‌گیری جریان سیال به وسیلهٔ 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. دقت 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 (پوروسیلیکات) است، اما در فشارهای بیشتر، از فلز استفاده می‌گردد.



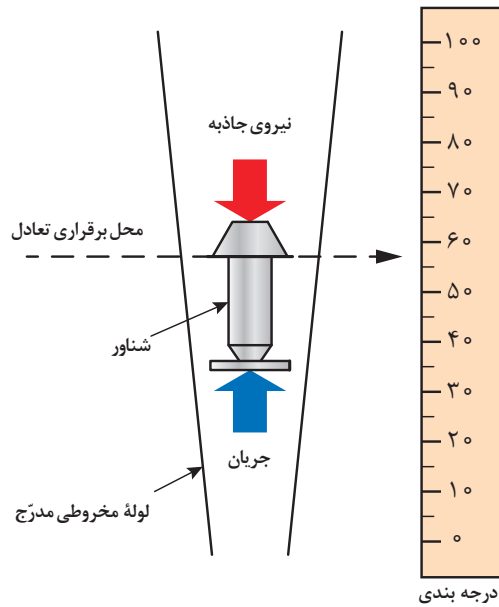
شکل ۸ - نمایش حرکت سیال در روتامتر



شکل ۷ - یک نمونه روتامتر معمولی



شکل ۱۰- روتامتر با میله هدایت کننده



شکل ۹- طرح ساده‌ای از نیروهای وارد بر شناور

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



شکل ۱۲- روتامتر اندازه‌گیری جریان اکسیژن



شکل ۱۱- کپسول اکسیژن طبی به همراه روتامتر



### اندازه گیری دبی سیال با روتامتر

#### وسایل لازم:

- ۱- مخزن ذخیره آب؛
- ۲- پمپ (از نوع گریز مرکز)؛
- ۳- شیر تنظیم کننده؛
- ۴- روتامتر؛
- ۵- استوانه مدرج؛
- ۶- زمان سنج.

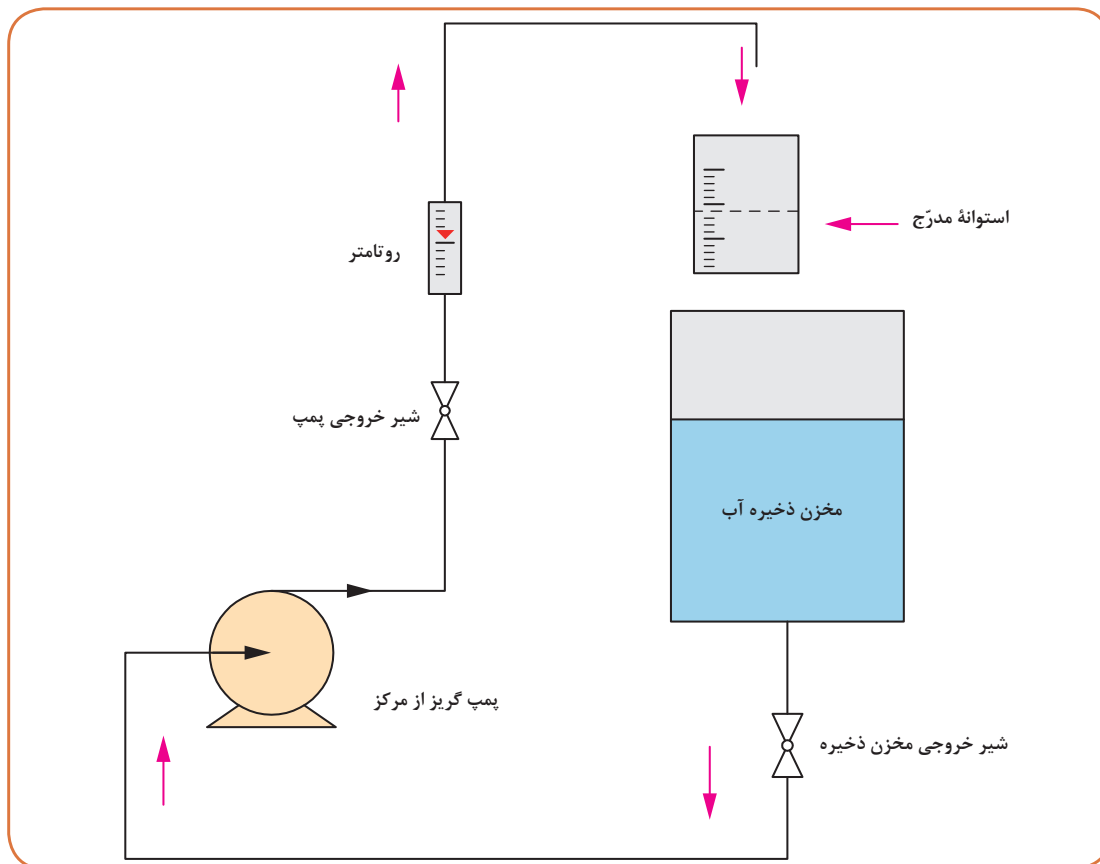
#### وسایل لازم:

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 اجازه 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 استوانه مدرج و زمان سنج میزان دقیق جریان آب را (با سه بار تکرار و متوسط گیری نتایج) به دست آورید. نتیجه را به همراه مقدار اندازه گیری شده 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 استوانه مدرج در هر حالت به دست 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 درباره آنها (یعنی دقت شرکت سازنده روتامتر و کار عملی خود) بحث کنید.

جدول ۲- آزمایش اندازه گیری دبی سیال با استفاده از روتامتر

درصد خطا	میزان جریان آب با روتامتر (لیتر بر دقیقه)	میزان جریان آب با استوانه مدرج (لیتر بر دقیقه)



شکل ۱۳- 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 جریان سنج سیالات بر پایه 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 وسیله این موانع، محاسبه می‌گردد. این قبیل موانع انواع گوناگونی دارند و در صنعت بسیار به کار می‌روند. مهم‌ترین انواع آنها را اریفیس متر یا منفذ<sup>۱</sup>، ونتوری متر<sup>۲</sup> (شیپوره هم‌گرا - واگرا) و نازل<sup>۳</sup> تشکیل می‌دهند. قیمت اریفیس متر کمتر از نازل و قیمت نازل کمتر از ونتوری متر است.

۱- Orifice

۲- Venturi

۳- Nozzle



افت فشار نازل کمتر از اریفیس متر، و افت فشار ونتوری متر کمتر از نازل است. از این وسایل هم برای سنجش جریان مایعات و هم گازها می توان استفاده کرد.

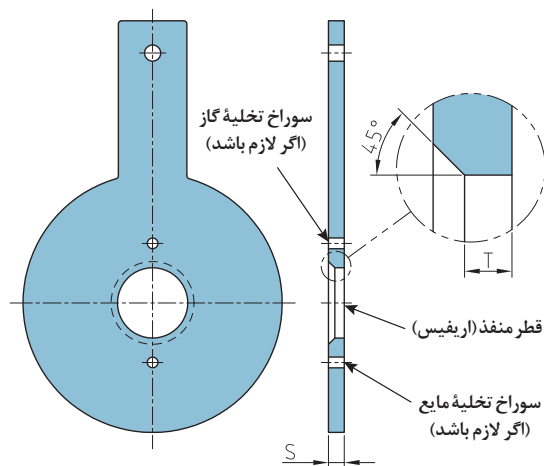
## اریفیس متر

این وسیله به صورت صفحه ای است که روی آن سوراخی تعبیه شده است و در مسیر جریان سیال قرار داده می شود (شکل ۱۴). وجود این قطعه باعث ایجاد افت فشاری در جریان سیال می شود که با اندازه گیری آن میزان جریان سیال قابل محاسبه است.



شکل ۱۴ - صفحه اریفیس متر همراه با اتصالات

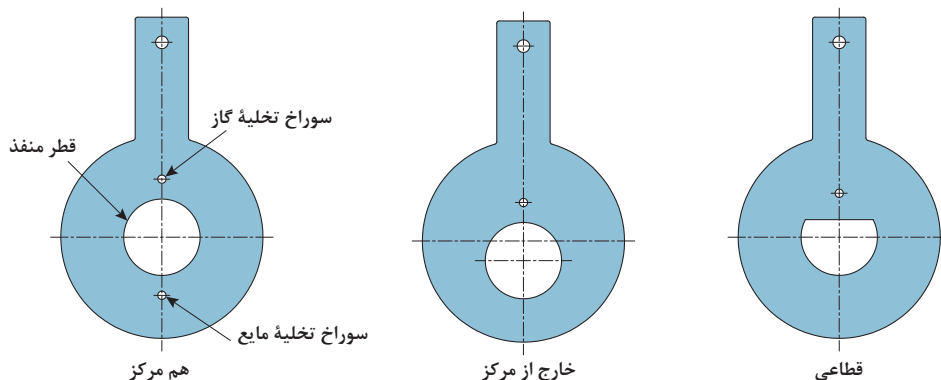
صفحه منفذدار (اریفیس) کج بر (مخروطی) هم مرکز



شکل ۱۵ - طرح ساده ای از روبه رو و پهلو اریفیس متر

دقت اندازه گیری جریان، وابسته به دقت ماشین کاری منفذ و لبه های آن، و مشخصات سوراخ های متصل به مانومتر یا فشارسنج، از جمله محل نصب مناسب و بهینه است (شکل ۱۵). این موارد به وسیله استانداردهایی مشخص شده است.

اریفیس مترها به سه دسته عمده تقسیم بندی می گردند (شکل ۱۶): ۱- هم مرکز؛ ۲- خارج از مرکز؛ ۳- قطاعی<sup>۳</sup>.



شکل ۱۶- انواع صفحات اریفیس متر

تحقیق کنید



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

اریفیس متر برای اندازه گیری دبی سیالات اعم از مایع و گاز به کار می رود. از آنجا که اندازه گیری دبی گازها در کارگاه هنرستان مشکل است، در این قسمت اندازه گیری دبی آب با اریفیس متر انجام می شود.

فعالیت کارگاهی



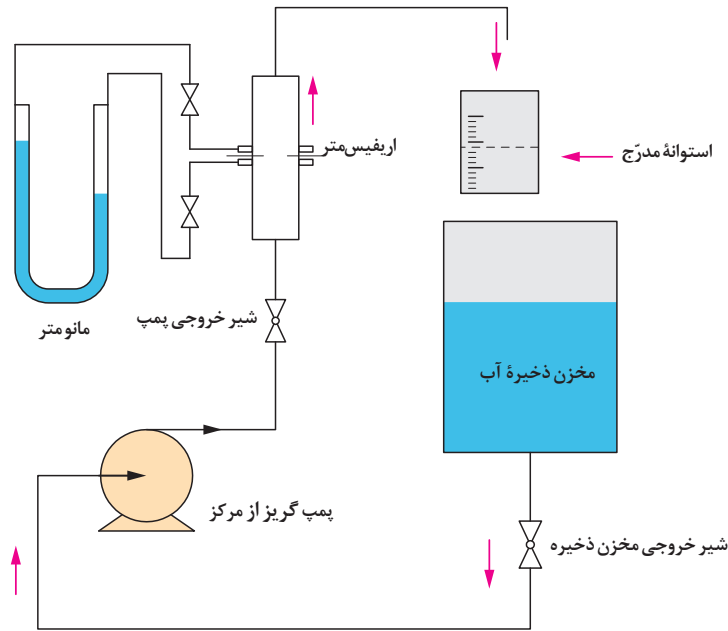
اندازه گیری جریان سیالات به وسیله صفحه اریفیس متر

وسایل لازم:

- ۱- مخزن ذخیره آب؛
- ۲- پمپ (از نوع گریز از مرکز)؛
- ۳- شیر تنظیم کننده؛
- ۴- اریفیس متر؛
- ۵- استوانه مدرج؛
- ۶- زمان سنج؛

وسایل لازم:

ابتدا مداری بسته مانند شکل ۱۷ را تشکیل دهید. با اجازه 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 استوانه مدرج و زمان سنج، میزان دقیق جریان آب را (با سه بار تکرار و متوسط گیری نتایج) به دست آورید. در همین زمان اختلاف ارتفاع دو سر مانومتر خوانده و یادداشت شود. اطلاعات به دست آمده را در جدول (۳) یادداشت کنید.



شکل ۱۷- طرح ساده‌ای از آزمایش اندازه‌گیری جریان سیال با استفاده از اریفیس متر

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 اریفیس متر ( $C$ ) را از روی بدنه دستگاه بخوانید. در صورت نبود این عدد آن را  $0.8782$  در نظر بگیرید  $g=9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$ .

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

روابط:

$$Q_v = C \cdot A_o \cdot \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}}$$

(اختلاف فشار) / چگالی

(سطح مقطع اریفیس) (ضریب تخلیه) = دبی

$C =$  ضریب تخلیه

شکل ۱۸ - فرمول محاسبه دبی نظری سیال به وسیله اریفیس متر

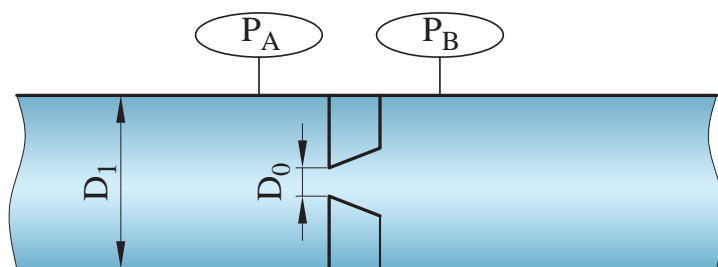
بنابراین:

$$A_o = \frac{\pi D^2}{4} = \text{سطح مقطع اریفیس متر (m}^2\text{)}$$

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

$$d = 100^\circ = \text{چگالی آب (kg/m}^3\text{)}$$

$$\Delta P = dgh$$



شکل ۱۹- اریفیس متر

جدول ۳- آزمایش اندازه گیری دبی سیال با استفاده از اریفیس متر

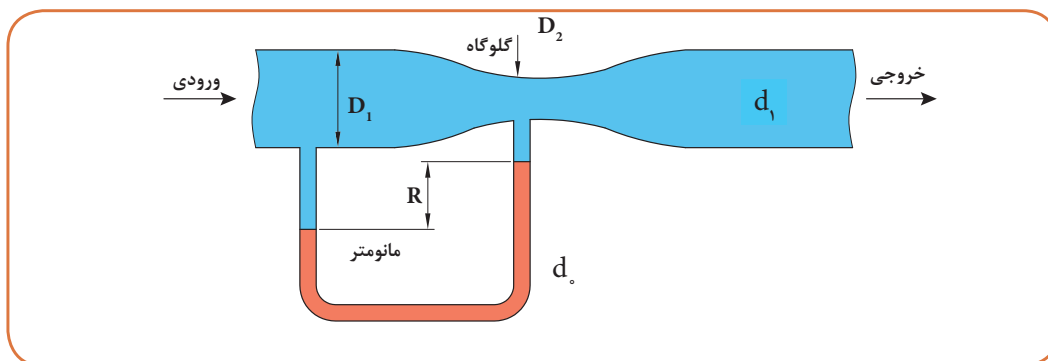
درصد خطا	دبی محاسبه شده به وسیله اریفیس	اختلاف فشار	اختلاف ارتفاع ستون جیوه	دبی واقعی	حجم آب موجود در استوانه	زمان	کمیت
%	$Q_v^o$	$\Delta P$	$\Delta h$	$Q_c$	$V$	$t$	نماد
	سانتی متر مکعب در ثانیه	پاسکال	میلی متر جیوه	سانتی متر مکعب بر ثانیه	سانتی متر مکعب	ثانیه	واحد

## ونتوری متر

در این روش با استفاده از ونتوری متر در مسیر جریان، که باعث ایجاد اختلاف فشار می شود، میزان دبی اندازه گیری می گردد. ونتوری متر برای اندازه گیری دبی در لوله ها استفاده می شود. این وسیله همانند شکل ۲۰، از بخش های زیر تشکیل شده است:

- ۱) بخش ورودی جریان که قطر آن برابر قطر لوله است ( $D_1$ )؛
- ۲) قسمت مخروطی هم گرا؛
- ۳) گلوگاه استوانه ای ( $D_2$ )؛
- ۴) قسمت مخروطی با واگرایی تدریجی که نهایتاً اندازه آن برابر با قطر لوله می شود ( $S_1$ )؛
- 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 به تدریج کم می‌شود. به دلیل ثابت بودن دبی حجمی سیال، سرعت آن افزایش پیدا می‌کند. در قسمت واگرا سطح مقطع لوله به تدریج زیاد می‌شود و در این حالت انرژی جنبشی به تدریج به انرژی فشاری تبدیل می‌گردد. واضح است که سرعت سیال در گلوگاه ونتوری از همه نقاط بیشتر است. در هنگام عبور سیال از ونتوری متر 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. اندازه ونتوری متر با قطر لوله و گلوگاه آن مشخص می‌شود. برای مثال ونتوری ۶ در ۴ سانتی‌متر، یعنی قطر لوله ۶ سانتی‌متر و قطر گلوگاه ونتوری متر ۴ سانتی‌متر است.



شکل ۲۰- ونتوری متر با مانومتر دیفرانسیلی



شکل ۲۱- یک نمونه ونتوری متر صنعتی

### اندازه گیری دبی سیال با ونتوری متر

#### وسایل لازم:

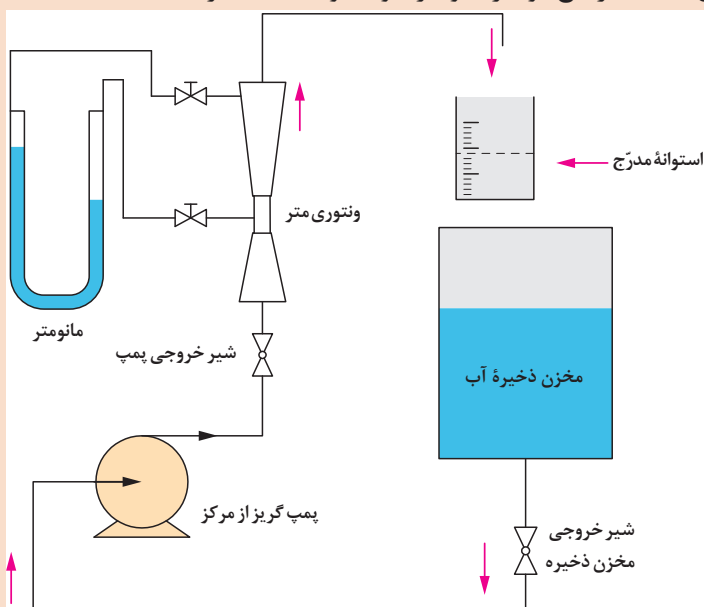
- ۱- مخزن ذخیره آب؛
- ۲- پمپ (از نوع گریز از مرکز)؛
- ۳- شیر تنظیم‌کننده؛
- ۴- ونتوری متر؛
- ۵- استوانه مدرج؛
- ۶- زمان‌سنج دقیق.

**روش کار:** ابتدا مداری بسته مانند شکل ۲۲ را تشکیل دهید. با اجازه 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.





حال با کمک استوانه مدرج و زمان سنج میزان دقیق جریان آب را (با سه بار تکرار و متوسط گیری نتایج) به دست آورید. در همین زمان اختلاف ارتفاع دو سر مانومتر خوانده و یادداشت کرده و اطلاعات به دست آمده را در جدول ۴ یادداشت کنید.



شکل ۲۲- طرح ساده ای از آزمایش اندازه گیری دبی سیال با ونتوری متر

با فرمول های شکل ۲۳ مقدار دبی سیال ( $Q_v$ ) را محاسبه و با مقدار دبی واقعی مقایسه کنید. میزان ضریب تخلیه ونتوری متر (C) را از روی بدنه دستگاه بخوانید. در صورت نبود این عدد، آن را  $0.9827$  در نظر بگیرید،  $g = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$  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.

$$Q_v = C.A_v \cdot \sqrt{\frac{\text{اختلاف فشار}}{\text{شدت جاذبه} \times \text{چگالی}} \cdot \frac{\text{شدت جاذبه} \cdot (\gamma)}{1 - \left(\frac{\text{قطر ونتوری}}{\text{قطر لوله}}\right)^4}}$$

$$Q_v = C.A_v \cdot \sqrt{\frac{2g \left(\frac{\Delta P}{\gamma}\right)}{1 - \left(\frac{D_v}{D_1}\right)^4}}$$

شکل ۲۳- فرمول محاسبه دبی حجمی سیال به وسیله ونتوری متر



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

جدول ۴ - آزمایش اندازه گیری دبی سیال با استفاده از ونتوری متر

درصد خطا	دبی محاسبه شده ونتوری متر	اختلاف فشار	اختلاف ارتفاع دو سر مانومتر	دبی واقعی	حجم آب درون استوانه	زمان	کمیت
%	$Q_v$	$\Delta P$	$\Delta h$	$Q_c$	$V$	t	نماد
	متر مکعب بر ثانیه	پاسکال	میلی متر جیوه	متر مکعب بر ثانیه	سانتی متر مکعب	ثانیه	واحد

## جریان سنج گاز

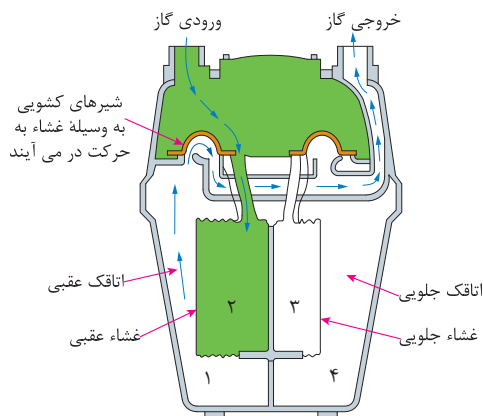
پس از انقلاب اسلامی، تقریباً به همه شهرها و روستاهای کشور گازرسانی شده است. در نتیجه، تصویر آشنای زیر در همه جای ایران دیده می شود. آیا می دانید که نام این دستگاه چیست و چه کاری انجام می دهد؟



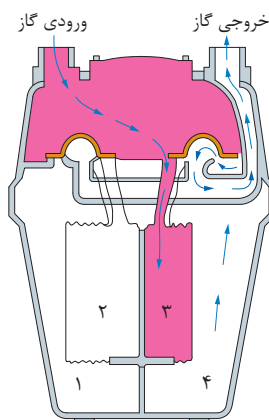
با اینکه بسیاری از جریان سنج‌های مایعات را برای اندازه‌گیری‌های گازها و بخارها می‌توان استفاده کرد، اما تجهیزات اختصاصی برای اندازه‌گیری جریان گازها هم وجود دارند که با آنها آشنا می‌شویم. نکته مهم در مورد گازها و بخارها این است که برای دانستن میزان جریان، باید دما و فشار آنها هم معلوم باشد. لذا غالباً این میزان برای  $15^{\circ}\text{C}$  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 در ادامه دو روش آن توضیح داده می‌شود.

### ۱- روش خشک:

در روش خشک، از یک محفظه فلزی (جریان سنج یا اصطلاحاً کنتور گاز) استفاده می‌شود که یک صفحه نازک فلزی و افقی فضای داخلی آن را به دو قسمت بالایی و پایینی تقسیم کرده است. قسمت پایینی هم به وسیله یک «صفحه جداکننده 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 بقیه محفظه پایینی (بخش ۱) مجزا کرده است. یک صفحه مدور 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 ۲۴- مرحله اول کار یک کنتور گاز خانگی



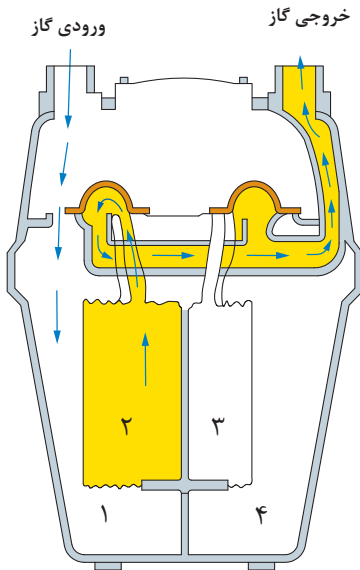
شکل ۲۵- مرحله دوم کار یک کنتور گاز خانگی

■ **مرحله 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 صفحه مدور روی اتاقک عقب (شماره ۲) از «صفحه جداکننده وسط» دور شود (مسیر سبز رنگ). همچنین، گاز داخل محفظه ۱ از خروجی کنتور به بیرون برود.

■ **مرحله دوم:** پس از رسیدن صفحه مدور اتاقک عقبی به انتهای مسیر خود، اهرم جابه‌جا کننده شیرها به وسیله این صفحه مدور به کار 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 محفظه ۱ به بیرون را می‌بندد. هم‌زمان، شیر کشویی سمت راست، مسیر ورود گاز به اتاقک ۳ (قرینه اتاقک ۲) و نیز مسیر خروج گاز از محفظه ۴ (قرینه محفظه ۱) به خروجی کنتور را باز می‌کند (مسیر قرمز رنگ). در پایان این مرحله، اتاقک ۳ پر از گاز شده است و صفحه مدور آن به انتهای مسیر خود رسیده است.



گاز موجود در محفظه ۴ هم از خروجی کنتور به بیرون رفته است. شیرهای کشویی به وسیله اهرم مربوط به صفحه مدور اتاقک ۳، و یک بار دیگر به (منتهی الیه) سمت راست حرکت می کنند. در نتیجه، مسیر ورودی گاز به محفظه ۱ و خروج گاز از اتاقک ۲ به خروجی کنتور باز می شود. همچنین خروجی های اتاقک ۳ و محفظه ۴ بسته می شود.



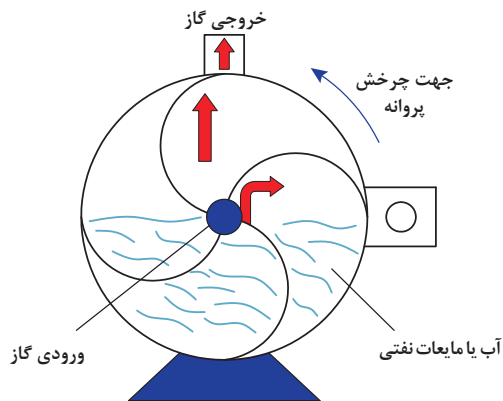
شکل ۲۶- مرحله سوم کار یک کنتور گاز خانگی

■ **مرحله سوم:** محفظه ۱ پر از گاز می شود و گاز موجود در اتاقک ۲ از خروجی کنتور به بیرون می رود. پس از پایان این مرحله، شیرها توسط صفحه مدور اتاقک ۲ (که این بار به سمت «صفحه جداکننده وسط» بسیار نزدیک می شود)، و اهرم مربوطه، یک بار دیگر کاملاً به (منتهی الیه) سمت چپ رانده می شوند (مسیر زرد رنگ). در نتیجه، ورودی گاز به اتاقک ۲ و خروجی گاز از محفظه ۱ باز می شود.

از این لحظه به بعد مراحل فوق دوباره تکرار می گردد. یک ساز و کار مکانیکی، حرکت متناوب دو شیر کشویی را به شمارنده کنتور وصل می کند. چون حجم اتاقکها و محفظهها دقیقاً مشخص است، میزان گاز طبیعی مصرف شده متناسب با دفعات پر و خالی شدن آنها به دست می آید. توجه داشته باشید که فشار گاز طبیعی در لوله کشی تأمین کننده آن، در میزان معینی و به طور پیوسته به وسیله ابزار دقیق مربوطه تنظیم و تثبیت می گردد. استفاده از دو اتاقک، به میزان زیادی نوسانات جریان گاز خروجی از کنتور را حذف می کند.

## ۲- روش تر:

روش دوم، روش تر نامیده می شود. جریان سنج یک محفظه (خارجی) است که شامل یک محفظه استوانه ای دوار داخلی با چند پره است. محفظه دوار داخلی می تواند آزادانه به دور محور افقی خود بچرخد. وقتی دستگاه تا سطح معینی از مایع (غالباً آب) پر شود، این مایع، آب بندی فضاهای ما بین پره ها را انجام می دهد. هر فضای بین پره ها ضمن چرخش محفظه دوار داخلی، مرتباً پر و خالی می گردد. گاز مورد اندازه گیری، از داخل محور دوران دستگاه وارد یکی از فضاهای پر از مایع می شود. با این کار آن را خالی از مایع و خیلی سبک تر می کند. در نتیجه، محفظه دوار داخلی آن قدر می چرخد که آن فضا کاملاً از مایع خارج گردد. گاز آزاد شده هم از خروجی بالای دستگاه به بیرون می رود. با ادامه ورود گاز به فضای بعدی، چرخش محفظه دوار داخلی به همین ترتیب ادامه می یابد. 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 اندازه گیری می شود که به سرعت دورانی محفظه داخلی بستگی دارد. یک شمارنده نیز مجموع حجم عبوری گاز را در هر لحظه نشان می دهد.



شکل ۲۸- نمای درونی جریان سنج گاز به روش تر



شکل ۲۷- نمای بیرونی جریان سنج گاز به روش تر (که در آزمایشگاه‌ها کاربرد دارد- با یکای لیتر بر ثانیه)

تمرین کنید



شرکت نفت ایران در حدود سال ۱۳۴۹ شمسی تصمیم گرفت که جریان سنج‌های خطوط لوله صادرات نفت خام خود را از نوع صفحه 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 نفت کش اقیانوس پیما 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 بشکه نفت خام ۱۵۹ لیتر باشد، این میزان ظرفیت چند بشکه، چند مترمکعب، چند لیتر و چند گالن است؟

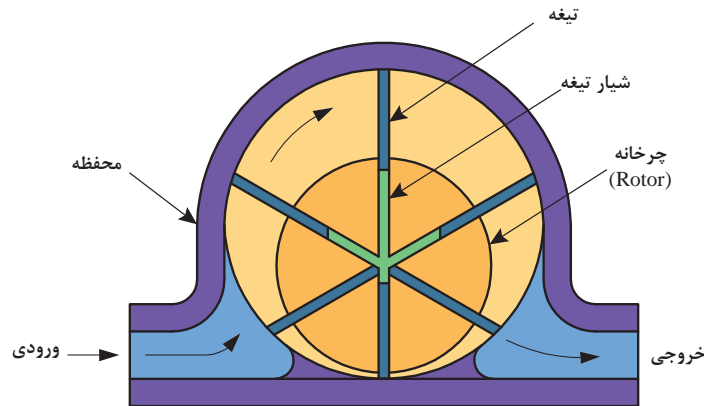
**مورد دوم:** یک کامیون نفت کش شهری، ۲۸۰۰۰ لیتر ظرفیت دارد. با فرض استفاده از نفت خام با چگالی نسبی ۰/۸۵، این میزان ظرفیت چند تن، چند بشکه، چند مترمکعب و چند گالن است؟



شکل ۳۰- کامیون نفت کش شهری



شکل ۲۹- کشتی نفت کش اقیانوس پیما



شکل ۳۱- جریان سنج نوع جابه جایی مثبت

تحقیق کنید



با استفاده از شبکه 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<sup>۱</sup> به کار می‌روند، اما 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 (اندازه‌گیری).

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 (کنترل‌کننده). روشن است که نتیجه مقایسه باید دائماً به او اطلاع داده شود. بدیهی است که ادامه 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 فرایندها از وسیله‌ای به نام شیر کنترل استفاده می‌کنیم.

## 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 تنظیم‌کننده 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 کشویی<sup>۱</sup> و شیرهای با محور چرخان<sup>۲</sup> در شکل های ۳۲ و ۳۳ آورده شده است.



شکل ۳۳ - شیر کنترل با محور چرخان

شکل ۳۲ - شیر کنترل با محور کشویی

## متغیرهای مهم در انتخاب نوع و اندازه شیرهای کنترل

این متغیرها عبارت‌اند از: نوع وظیفه 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 خاموش کردن 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<sup>۳</sup> (یکنواخت) واحد متفاوت یا حتی متضاد است. در نتیجه، معمولاً این کار به عهده متصدی واحد<sup>۴</sup> گذارده می‌شود. 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.

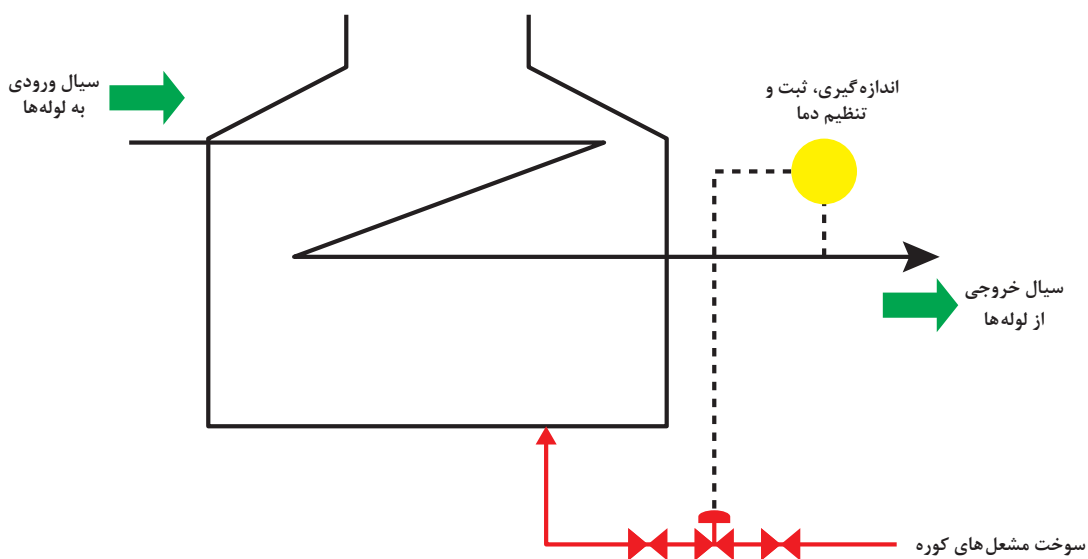
۱- Sliding Stem

۲- Rotary Shaft

۳- Steady State

۴- Operator

در حالت عملیات فرایندی پایه، 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 خود کار 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 - شیر کنترل خودکار تنظیم‌کننده سوخت مشعل‌ها، در کوره‌های فرایندی

### کنترل دستی دبی شیر آب کارگاه

فعالیت  
کارگاهی



وسایل لازم:

استوانهٔ مدرج

زمان‌سنج

روش کار:

با تنظیم دستی شیر آب کارگاه، دبی آب خروجی را روی  $0/6$  لیتر بر دقیقه تنظیم و کنترل کنید.

## 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

### شاخص‌ها:

- 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 جلسه آموزشی  
 ابزار و تجهیزات: زمان سنج، استوانه مدرج، پمپ (از نوع گریز از مرکز)، شیر تنظیم‌کننده، روتامتر، اریفیس متر، و نتوری متر

### معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره 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 غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی ۲- نگرش: صرفه‌جویی در مصرفی ۳- توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش ۴- شایستگی‌های غیر فنی: الف) اخلاق حرفه‌ای ب) مدیریت منابع پ) محاسبه و کاربست ریاضی ۵- مستندسازی: گزارش‌نویسی	۲	
	میانگین نمرات		*

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