

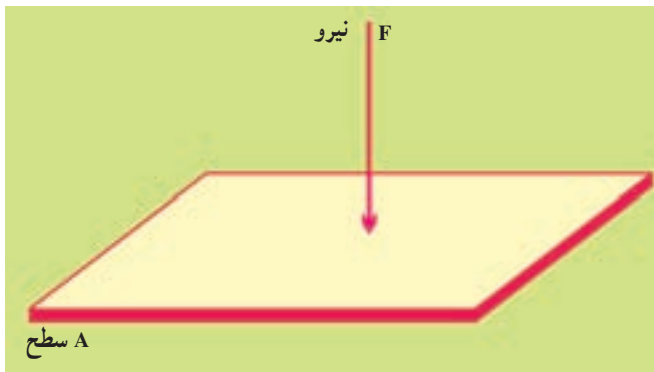
## اندازه‌گیری فشار

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- مفهوم فشار را بیان کند.
- ۲- فشار گازها و مایعات را توضیح دهد.
- ۳- واحدهای فشار را توضیح دهد.
- ۴- واحدهای فشار را به هم تبدیل کند.

### ۱-۳- تعریف فشار<sup>۱</sup>

طبق تعریف، نیروی عمودی وارد بر واحد سطح<sup>۲</sup> را فشار می‌نامند.



شکل ۱-۳

$$\text{فشار} = \frac{\text{نیرو}}{\text{سطح}}$$

اگر فشار را با  $P$  و نیرو را با  $F$  و سطح را با  $A$  نمایش دهیم خواهیم داشت:

$$P = \frac{F}{A} \quad (1-3)$$

۱- Pressure

۲- Force

۳- Area

در سیستم SI اگر در رابطه فوق نیرو را برحسب نیوتن و سطح را برحسب متر مربع بگذاریم به واحد فشار خواهیم رسید.

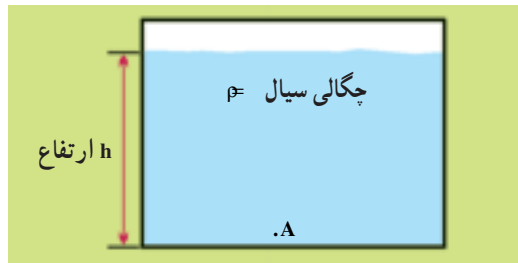
$$(۱-۱-۳) \quad \frac{\text{نیوتن}}{\text{متر مربع}} = \frac{N}{m^2} = Pa \text{ (پاسکال)}$$

بدین ترتیب یکی از واحدهای فشار پاسکال می‌باشد.

پاسکال: طبق تعریف اگر نیرویی معادل یک نیوتن به سطح یک متر مربع وارد شود فشاری معادل یک پاسکال خواهد داشت.

### ۲-۳- فشار مایعات

ستون مایع: ابتدایی‌ترین مفهوم فشار مایعات مربوط به ستون سیال مایع است. بدین طریق که اگر در ظرفی مایعی وجود داشته باشد، فشار در نقطه A ناشی از وزن ذرات مایع در بالای نقطه A



شکل ۲-۳- ستون سیال مایع

می‌باشد و این فشار به ارتفاع و چگالی مایع وابسته است.

(ارتفاع) (شتاب ثقل) (چگالی) = فشار ستون مایع در نقطه (A)

$$P_A = \rho \cdot g \cdot h \quad (۲-۳)$$

اگر واحدهای چگالی و شتاب ثقل و ارتفاع را در رابطه فوق قرار دهیم واحد فشار پیدا خواهد شد.

$$\text{واحد فشار} = \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = \frac{kg}{m \cdot s^2} = Pa \quad (۱-۲-۳)$$

که بازهم با توجه به تعریف واحد پاسکال به جواب بالا خواهیم رسید.

### ۳-۳ فشار گازها

در گازها به سبب فاصله موجود بین مولکول‌ها، وزن مولکول‌ها تعیین کننده فشار سیال نخواهد بود. بلکه فشار در گازها ناشی از ضربات ملکول‌های گاز است که به سطح (دیواره ظرف) برخورد می‌کنند و به‌طور کلی می‌توان گفت که: فشار گاز حاصل تبادل اندازه حرکت میان مولکول‌های گاز و دیواره ظرف است.

### ۳-۴ واحدهای فشار

علاوه بر پاسکال واحدهای دیگری در سیستم‌های مختلف برای بیان فشار وجود دارند که ابتدایی‌ترین آن‌ها اتمسفر (atm) می‌باشد و طبق قرارداد فشار جو در سطح دریا را یک اتمسفر در نظر می‌گیرند و مابقی را نسبت به فشار سطح دریا می‌سنجند. واحدهای کاربردی فشار عبارت‌اند از:

– میلی‌متر جیوه (mmHg) یا سانتی‌متر جیوه (cmHg)، یا اینچ جیوه (inHg)  
– بار (bar)

– پوند نیرو بر اینچ مربع (Psi)

– دین بر سانتی‌متر مربع ( $\text{dyne} / \text{cm}^2$ )

– فوت آب (ftH<sub>2</sub>O) یا متر آب (mH<sub>2</sub>O) و ...

جدول ۳-۱ واحدهای مختلف فشار و تبدیلات آن‌ها

	atm	Pa	bar	mmHg	psi	inHg	FtH <sub>2</sub> O	$\text{dyne} / \text{cm}^2$
atm	۱	۱۰۱۳۲۵	۱/۰۱۳۲۵	۷۶۰	۱۴/۶۹۶	۲۹/۹۲۱	۳۳/۹	$۱/۰۱۳۲۵ \times ۱۰^۶$

مثال ۳-۱- فشار ۲۰۰ Psi را به اتمسفر و پاسکال و اینچ جیوه تبدیل کنید.

حل:

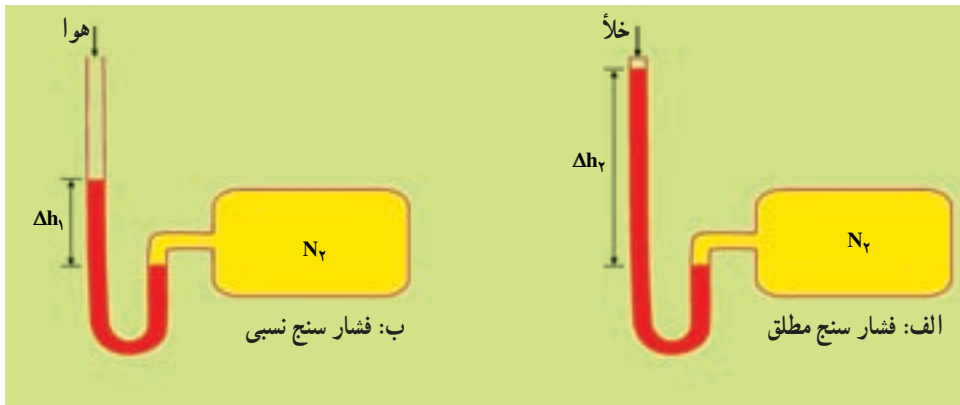
$$۱) \frac{۲۰۰ \text{ Psi}}{۱۴/۶۹۶ \text{ Psi}} \left| \frac{۱ \text{ atm}}{۱} \right. = ۱۳/۶ \text{ atm}$$

$$۲) \frac{۱۳/۶ \text{ atm}}{۱ \text{ atm}} \left| \frac{۱۰۱۳۲۵ \text{ Pa}}{۱} \right. = ۱۳۷۸۰۲۰ \text{ Pa}$$

$$۳) \frac{۱۳/۶ \text{ atm}}{۱ \text{ atm}} \left| \frac{۲۹/۹۲۱ \text{ inHg}}{۱} \right. = ۴۰۶/۹۲ \text{ inHg}$$

### ۳-۵- فشار نسبی<sup>۱</sup> و فشار مطلق<sup>۲</sup>

فشار را نیز همانند دما می‌توانیم به صورت نسبی یا مطلق بیان کنیم. مطابق شکل ۳-۳ اگر از دستگاه فشار سنج سر باز در معرض فشار محیط استفاده کنیم فشار نسبی حاصل می‌شود. نظر به این که با توجه به شکل ۳-۳ الف، فشار مطلق را مجزا از محیط اندازه‌گیری می‌کنند لذا نقطه صفر در فشار مطلق منطبق بر خلأ کامل است. در صورتی که برای فشار نسبی نقطه صفر در حقیقت فشار هوای محیط اندازه‌گیری می‌باشد. بدین ترتیب فشار مطلق عبارت است از فشار اندازه‌گیری شده به علاوه فشار محیط.



شکل ۳-۳- نمایش فشار سنج مطلق و نسبی

$$\Delta h_2 \gg \Delta h_1$$

$$(۳-۳) \text{ فشار اتمسفری}^۳ + \text{فشار نسبی} = \text{فشار مطلق}$$

$$P_A = P_R + P_{Air}$$

خلاصه:

- ۱- فشار مطلق: مقیاس اندازه‌گیری فشار نسبت به خلأ مطلق یا فشار صفر است.
- ۲- فشار نسبی: مقیاس اندازه‌گیری فشار نسبت به فشار محیط است.
- ۳- فشار اتمسفری: فشار هوای محیط اطراف ماست که نسبت به ارتفاع متغیر است.
- ۴- فشار اتمسفری استاندارد: فشار هوا در سطح دریاهای آزاد برابر ۱ atm یا ۷۶۰ mmHg در صفر درجه سلسیوس فرض می‌شود.
- ۵- فشار مطلق و نسبی توسط معادله (۳-۳) به هم تبدیل می‌شوند.

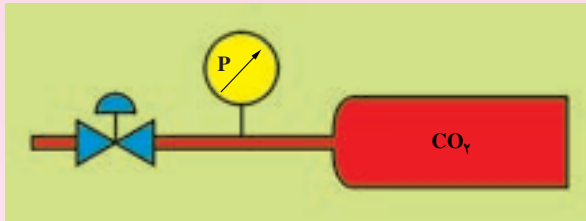
۱- Relative pressure

۲- Absolute pressure

۳- Atmospheric pressure

نکته: در سیستم انگلیسی FPS واحدهای فشار مطلق و نسبی را به شکل زیر تعریف می کنند.  
 فشار نسبی =  $^2$  Psig، فشار مطلق =  $^1$  Psia

مثال ۳-۲- فشار نسبی تانکی حاوی گاز  $CO_2$  برابر با ۵۱ psig خوانده می شود. اگر فشار اتمسفری محیط ۲۸ inHg باشد فشار مطلق تانک را پیدا کنید.



شکل ۳-۴

حل:

ابتدا بایستی تبدیل واحد انجام دهیم. یعنی هر دو فشار را به یک واحد تبدیل کنیم:

$$\frac{28 \text{ inHg}}{29.921 \text{ inHg}} \left| \frac{14.696 \text{ psi}}{1} \right. = 13.75 \text{ psi}$$

$$P_A \text{ (فشار مطلق)} = P_R \text{ (فشار نسبی)} + P_{Air} \text{ (فشار محیط)}$$

$$P_A \text{ (فشار مطلق)} = 51 \text{ psia} + 13.75 \text{ psia} = 64.75 \text{ psia}$$

نکته: دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار سیالات در کتاب کارگاه عملیات دستگاهی صنایع شیمیایی به تفصیل آورده شده است. جهت مطالعه به کتاب مذکور مراجعه شود.

مثال ۳-۳- فشار نسبی یک مخزن اکسیژن ۲ اتمسفر می باشد با توجه به این که فشار اتمسفری محیط ۱۴/۷ psi می باشد، فشار مطلق مخزن اکسیژن را بر حسب واحد پاسکال به دست آورید.

حل:

$$P_A \text{ (فشار مطلق)} = P_R \text{ (فشار نسبی)} + P_{Air} \text{ (هوا)}$$

ابتدا بایستی فشارها را به واحد پاسکال تبدیل نمایید.

$$\text{فشار نسبی} = 2 \times 101325 \text{ Pa} = 202650 \text{ Pa}$$

$^1$  - Pound per square inch absolute

$^2$  - Pound per square inch gage

هر اتمسفر ۱۴/۷psi و ۱۰۱۳۲۵Pa می باشد، پس:

$$\text{فشار هوا} = ۱۰۱۳۲۵ \text{ Pa}$$

$$\text{فشار مطلق} = ۲۰۲۶۵۰ \text{ Pa} + ۱۰۱۳۲۵ \text{ Pa} = ۳۰۳۹۷۵ \text{ Pa}$$

مثال ۳-۴- فشار ۲۰ psia را به اینچ جیوه تبدیل کنید.

حل: با استفاده از روش نردبانی خواهیم داشت.

$$\frac{۲۰ \text{ psia}}{۱۴/۷ \text{ psia}} = \frac{۲۹/۹۲ \text{ inHg}}{۱ \text{ inHg}} = ۴۰/۷۰ \text{ inHg}$$

## خودآزمایی

۱- با توجه به روابط (۱-۱-۳) و (۱-۲-۳) معادل واحد نیوتن را به دست آورید.

۲- فشار ۱۰۰۰ inHg را به واحدهای زیر تبدیل کنید.

الف) psia      ب) kpa      ج) atm

د) ftH<sub>2</sub>O      ه) cmHg      و) bar

۳- فشار مخزن مقابل توسط فشارسنج اندازه گیری و مقدار آن ۲۰۰ kpa گزارش شده است

فشار مطلق را برای گاز مذکور در واحد psia به دست آورید.



۴- فشار مطلق یک برج ۳۲ inHg می باشد. اگر فشارسنج، فشار ۳/۷ inHg را نمایش دهد

فشار اتمسفری محیط را بر حسب mmHg، atm، kpa به دست آورید.

## اندازه‌گیری جریان سیالات

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- مفهوم دبی جرمی و حجمی را توضیح دهد.
- ۲- با روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات آشنا شود.

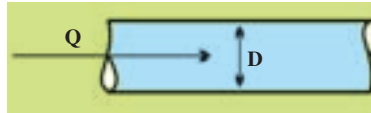
### ۱-۴- تعریف دبی

میزان مشخصی از سیال که در واحد زمان از یک مقطع عبور کند را دبی می‌نامند. در لفظ دیگر دبی همان شدت جریان سیال می‌باشد.

### ۲-۴- دبی حجمی<sup>۱</sup> (Q)

حجم معینی از سیال که از یک مقطع در واحد زمان عبور کند را دبی حجمی می‌نامند.

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

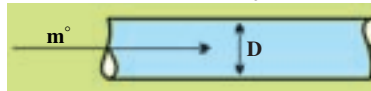


شکل ۱-۴

### ۳-۴- دبی جرمی<sup>۲</sup> (m°)

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

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



### ۴-۴- واحدهای دبی حجمی و جرمی

واحد دبی حجمی:

در دستگاه SI حجم برحسب مترمکعب و زمان برحسب ثانیه بیان می‌شود بنابراین، واحد دبی

۱- Volumetric flowrate

۲- Mass flowrate

حجمی عبارت خواهد بود از :

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

واحد دبی جرمی:

در دستگاه SI جرم بر حسب کیلوگرم و زمان بر حسب ثانیه بیان می‌شود بنابراین، واحد دبی

جرمی عبارت خواهد بود از :

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

چگونگی تبدیل دبی حجمی و دبی جرمی به یکدیگر مشابه تبدیل حجم و جرم به یکدیگر است بدین ترتیب که در محاسبات جهت تبدیل دبی حجمی و جرمی به یکدیگر از چگالی سیال استفاده می‌شود.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{\frac{m}{t}}{\frac{V}{t}}$$

$$\rho = \frac{m^\circ}{Q}$$

$$m^\circ \neq Q$$

t : زمان

یا

#### ۴-۵- روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات

روش‌های مورد استفاده در سنجش جریان سیالات بسیار متنوع هستند. عوامل تعیین‌کننده روش عبارت‌اند از: نوع سیال، ویسکوزیته، فشار بخار، دما و ... در اندازه‌گیری جریان سیال روش‌های زیر قابل استفاده می‌باشد:

۱- روش جابه‌جایی مثبت (روش پیمانه‌ای یا مستقیم)

۲- روش انسداد جریان (وتوری متر<sup>۱</sup>، اری فیس متر<sup>۲</sup>، نازل‌ها<sup>۳</sup>)

۳- روش اثرات مقاومت سیال (روتامترها<sup>۴</sup>)

۴-۵-۱- روش جابه‌جایی مثبت (روش پیمانه‌ای): در این روش حجم مشخص سیال را در مدت زمان معین اندازه‌گیری می‌کنند. با تقسیم حجم عبور کرده یا جمع‌آوری شده بر زمان

۱- Venturimeter

۲- Orifice meter

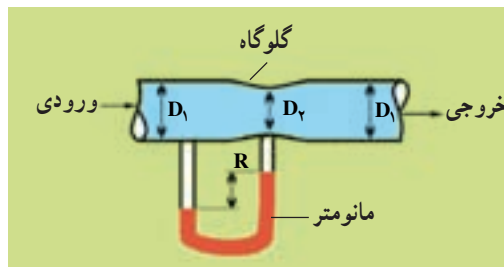
۳- Nzzle

۴- Rotameter



جمع‌آوری سیال دبی به دست خواهد آمد. از این روش در کنتورهای آب منازل نیز استفاده شده است. اساس کار به این شکل است که درجه‌بندی کنتور براساس تعداد دفعات پر و خالی شدن هر حجم در محفظه کنتور صورت می‌گیرد که این کار در کارخانجات تولیدکننده صورت گرفته و به‌طور دقیق درجه‌بندی می‌شوند.

**۴-۵-۲- روش انسداد جریان:** در این روش سیال را از مقطعی که کوچک‌تر از مسیر اصلی جریان است می‌گذرانند و با اندازه‌گیری افت فشار ایجاد شده و استفاده از روابط تجربی دبی جریان را پیدا می‌کنند. در این روش از وسایلی نظیر ونتوری متر، اری فیس متر و نازل‌ها استفاده می‌کنند. **لوله ونتوری:** لوله ونتوری دارای یک مدخل ورودی و خروجی معادل قطر لوله جریان است. هم‌چنین که گلوگاه در وسط لوله ونتوری تعبیه شده است که افت فشار در آن مقطع صورت می‌گیرد. معمولاً برای مشاهده و اندازه‌گیری افت فشار در لوله ونتوری از یک مانومتر استفاده می‌شود. این مانومتر دیفرانسیلی<sup>۱</sup> افت فشار مقطع گلوگاه و لوله ورودی ونتوری را نمایش می‌دهد. شکل ساده یک ونتوری متر در زیر آمده است.



شکل ۴-۲- ونتوری متر



شکل ۴-۳- یک اری فیس

**اری فیس متر:** اری فیس عبارت است از صفحه‌ای که روی آن سوراخی تعبیه شده است. در حقیقت افت فشار در این روزنه اتفاق می‌افتد. با استفاده از روابط فیزیکی و مقدار افت فشار خوانده شده توسط مانومتر میزان دبی در اری فیس تعیین خواهد شد. شکل ۴-۳ یک اری فیس متر را نمایش می‌دهد.

۱- مانومترها در کتاب کارگاه عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی به تفصیل آورده شده‌اند.

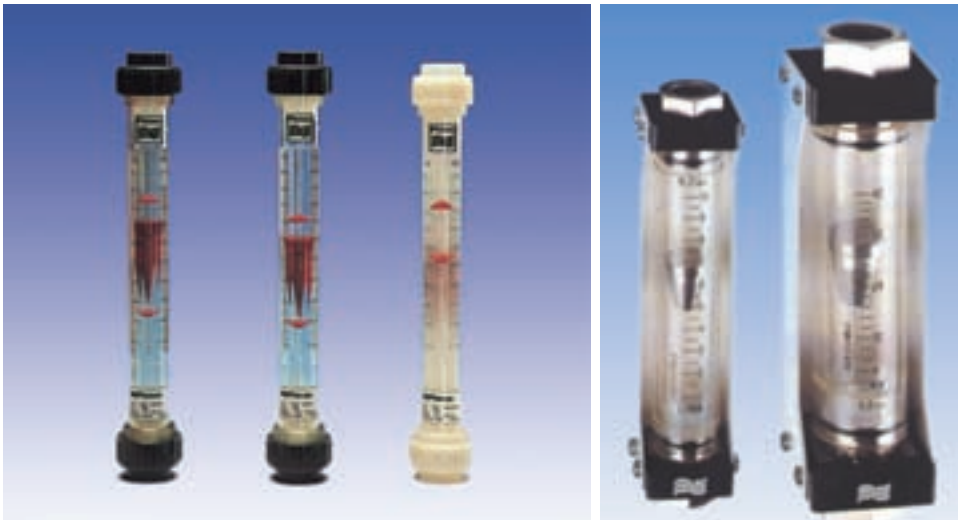


نازل (شیپوره): نازل یا شیپوره در خط لوله جریان قرار دارد و باعث کاهش سطح مقطع لوله می‌شود و لذا افت فشار ایجاد می‌کند. از افت فشار ایجاد شده که به وسیله یک مانومتر قابل اندازه‌گیری است و روابط فیزیکی، می‌توان دبی جریان را یافت. شکل ۴-۴ یک نازل را نمایش می‌دهد.

شکل ۴-۴ شماتیک یک نازل

#### ۴-۵-۳ مقایسه اری فیس و ونتوری متر<sup>۱</sup>

- ۱- دقت اندازه‌گیری اری فیس نسبت به ونتوری کم‌تر است.
  - ۲- افت فشار دائم<sup>۲</sup> تولید شده در اری فیس ۵۰ درصد افت فشار خط جریان است لذا در جریان‌های با فشار کم استفاده نمی‌شود.
  - ۳- افت فشار در ونتوری نسبت به اری فیس خیلی کم است.
  - ۴- نصب و نگهداری ونتوری مخارج زیادی دارد.
  - ۵- چون طول ونتوری نسبتاً بلند است برای لوله‌های با طول کم استفاده نمی‌شود.
- ۴-۵-۴ روش اثرات مقاومت سیال (استفاده از روتامتر)
- روتامتر: ساده‌ترین وسایل سنجش میزان مایعات و گازها می‌باشد. روتامتر شامل یک شناور



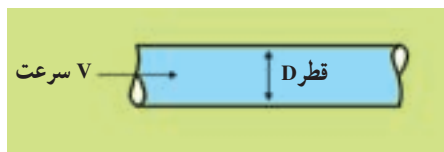
شکل ۴-۵ روتامترهای صنعتی

- ۱- جهت مطالعه بیشتر به کتاب کارگاه عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی مراجعه شود.
- ۲- افت فشار تولید شده در خط جریان به علت وجود مانع

یک ظرف است. ظرف معمولاً به صورت مخروط ناقص و از جنس شیشه می باشد که درون آن یک شناور وجود دارد و به صورت عمودی در مسیر جریان قرار می گیرد. بر اساس دبی جریان عبوری از روتامتر، محل قرارگرفتن شناور متفاوت است. روی ظرف شیشه ای مدرج شده است و پس از قرارگرفتن در مسیر جریان به وسیله محل شناور میزان جریان خوانده خواهد شد. برای سیالات بی خطر مثل آب و هوا و در دماهای عملیاتی پایین از شیشه های بور و سیلیکات برای بدنه روتامتر استفاده می شود. جهت فشارهای بالا و یا عبور مواد سمی و آتشزا استفاده از روتامترها ممنوع است. افت فشار در روتامترها ثابت است. بسته به قطر روتامتر افت فشار در حدود چند اینچ آب تا یک psi می باشد. شکل ۴-۵ چند روتامتر صنعتی را نمایش می دهد.

#### ۴-۶- روش اندازه گیری دبی به وسیله سرعت سیال

یک روش برای اندازه گیری دبی سیالات استفاده از سرعت می باشد. اگر سرعت یک سیال را داشته باشیم با ضرب سرعت در سطح مقطع لوله دبی حاصل خواهد شد.



شکل ۴-۶- نمایش یک لوله

سطح مقطع  $\times$  سرعت = دبی حجمی

$$Q = V \times A \quad (۱-۴)$$

که در رابطه فوق :

Q: دبی :  $m^3/s$

V: سرعت :  $m/s$

A: سطح مقطع :  $m^2$

برای به دست آوردن سطح مقطع از رابطه زیر استفاده می شود :

$$A = \pi r^2 = \pi \frac{D^2}{4} \quad (۲-۴)$$

که در رابطه فوق  $r =$  شعاع و D معادل قطر خط لوله می باشد.

رابطه ۴-۱ نشان می‌دهد که در خط لوله در دبی ثابت با افزایش سطح مقطع سرعت کاهش می‌یابد و برعکس.

### خودآزمایی

- ۱- روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات را نام ببرید.
- ۲- دبی حجمی و جرمی را تعریف کنید.
- ۳-  $4000 \text{ kg/s}$  آب با چگالی  $1000 \text{ kg/m}^3$  در یک خط لوله جریان دارد دبی حجمی آب را پیدا کنید.
- ۴- مزایای ونتوری نسبت به اری فیس را نام ببرید.
- ۵- چرا کاربرد لوله شیشه‌ای برای روتامتر در فشارهای بالا صحیح نیست؟
- ۶- شدت جریان (دبی)  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  از یک خط لوله به قطر  $12 \text{ inch}$  جریان دارد سرعت سیال را برحسب  $\text{m/s}$  پیدا کنید.

### ترازوها و چگالی سنج‌ها

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- جرم و وزن را توضیح دهد.
- ۲- با ترازو آشنا شود.
- ۳- چگالی و چگالی نسبی را توضیح دهد.
- ۴- با چگالی سنج‌ها آشنا شود.

#### ۵-۱- جرم<sup>۱</sup> و وزن<sup>۲</sup>

۵-۱-۱- تعریف جرم: مقدار ماده موجود در یک جسم را جرم می‌گویند که مقدار آن ثابت می‌باشد. واحد اندازه‌گیری جرم در دستگاه SI کیلوگرم است و هر کیلوگرم تقریباً برابر با جرم ۱۰۰۰ سانتی‌متر مکعب آب خالص در ۴ درجه سلسیوس می‌باشد. برای اندازه‌گیری جرم‌های بزرگ از واحد تن استفاده می‌کنند و هر تن برابر ۱۰۰۰ کیلوگرم می‌باشد. جرم را با ترازو اندازه‌گیری می‌گیرند. ترازوهای قدیمی بر اساس قانون اهرم‌ها کار می‌کنند. نمونه‌های مختلف ترازوها را در فروشگاه‌ها مشاهده نموده‌اید. در شکل ۵-۱ نمونه‌هایی از ترازوهای مختلف آمده است که بسته به نوع کار از دقت‌های مختلفی برخوردار هستند.

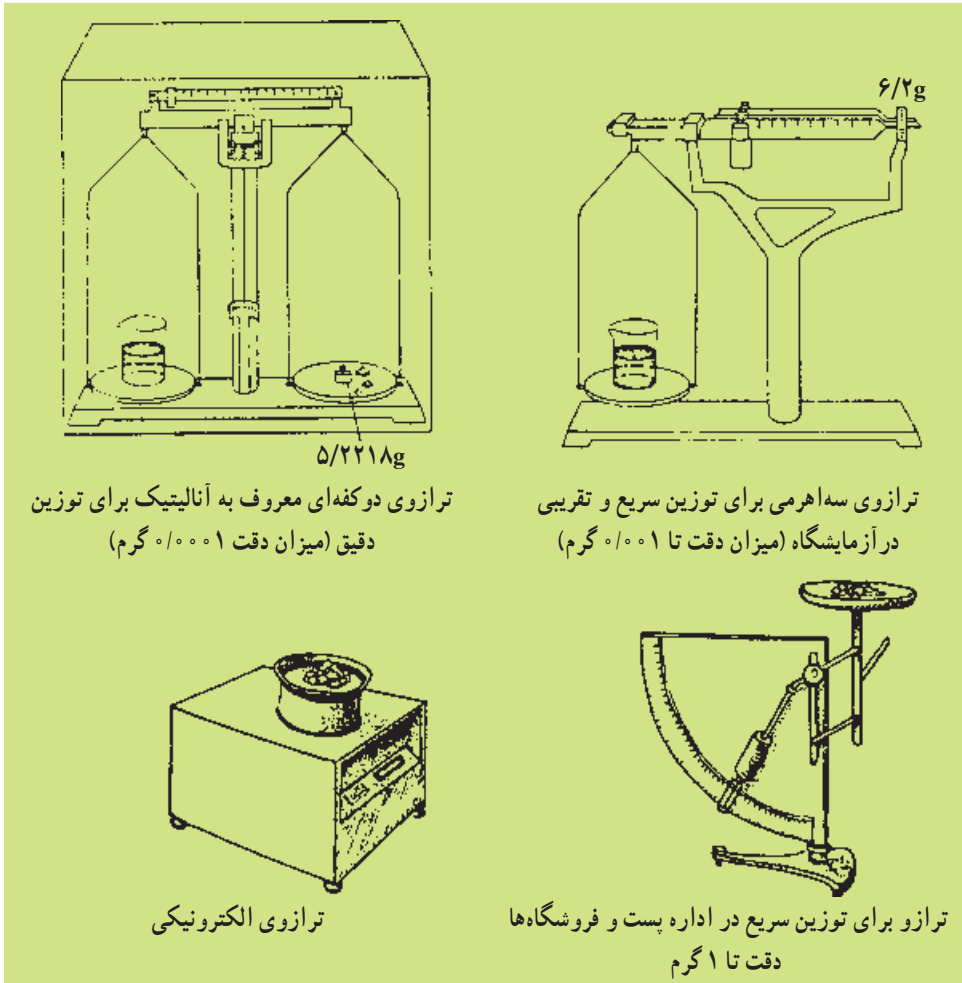
۵-۱-۲- وزن: در حقیقت میزان نیروی است که از مرکز ثقل زمین به جسم وارد می‌شود و براساس شدت جاذبه نقاط مختلف وزن اجسام متغیر خواهد بود. واحد وزن در دستگاه SI نیوتن می‌باشد.

معادله (۵-۱) شتاب جاذبه  $\times$  جرم = وزن

که اگر وزن را با  $W$ ، جرم را با  $m$  و شتاب جاذبه را با  $g$  نمایش دهیم:

معادله (۵-۲)  $W = m \cdot g$

مقدار شتاب جاذبه را در حالت استاندارد معادل  $9.806 \text{ m/s}^2$  در نظر می‌گیرند.



شکل ۵-۱- ترازوهای مختلف

## ۵-۲- چگالی (جرم حجمی)<sup>۱</sup>

چگالی یا جرم حجمی عبارت است از نسبت جرم به حجم اجسام که توسط رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\text{چگالی} = \frac{\text{جرم}}{\text{حجم}}, \quad \rho = \frac{m}{V} \quad (۳-۵)$$

واحد چگالی در سیستم SI کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد.

برای یافتن چگالی مواد مختلف، از هر ماده یک سانی مترمکعب تهیه می‌کنند و جرم هریک را

۱- Density