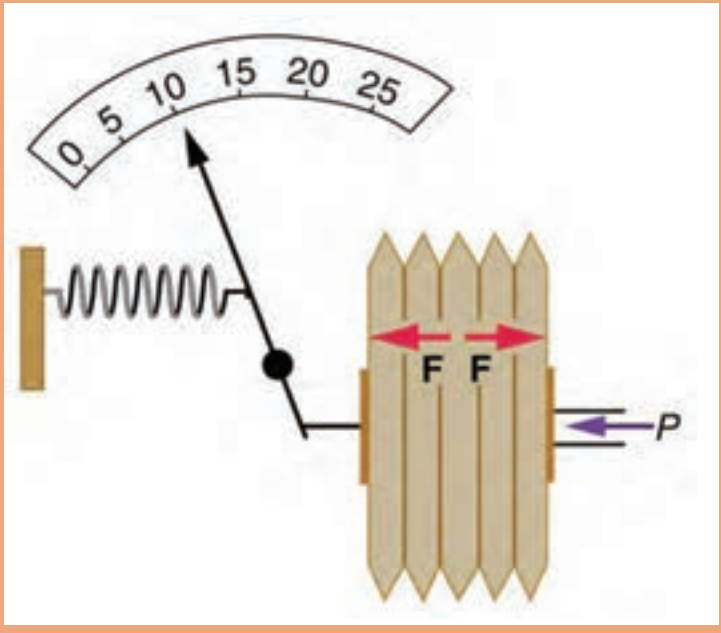
پودمان ۳

اندازه‌گیری، ثبت و کنترل فشار



بسیاری از فرایندهای شیمیایی در فشارهای بالا و بعضی دیگر در فشارهای پایین صورت می گیرند. بنابراین دقّت در اندازه‌گیری و کنترل فشار اهمیّت زیادی دارد.

واحد یادگیری ۳

اندازه‌گیری، ثبت و کنترل فشار

مقدمه

بسیاری از فرایندهای شیمیایی در فشارهای بالا و بعضی دیگر در فشارهای بسیار پایین انجام می‌شوند. از این جهت درک مفهوم فشار برای کاربران و مهندسین فرایند امری ضروری می‌باشد. امروزه فرایندهایی وجود دارند که در فشارهای تا ۱۵۰۰۰ بار و یا فشارهای خلأ تا 10^{-7} بار انجام می‌شوند. علاوه بر این زندگی موجودات وابسته به فشار جو می‌باشد و بسیاری از فرایندهای حیاتی وابستگی شدیدی به مقدار فشار دارند. در صنایع شیمیایی تولید بسیاری از محصولات مانند آمونیاک، پلیمرها و... در فشارهای نسبتاً بالا صورت می‌پذیرد. از این روی درک غلط از فشار و اندازه‌گیری و کنترل نادرست آن مانند تقطیر در خلأ، علاوه بر تأثیرات نامطلوب بر فرایند، باعث خسارات مالی و جانی می گردد.

در این پودمان مباحث به‌کارگیری مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری فشار، دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار و کنترل آن توضیح داده شده است.

استاندارد عملکرد

به‌کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری فشار و کنترل آن 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 به‌موقع ـ مدیریت مؤثر زمان ـ استفاده از مواد و تجهیزات

۳ **کار گروهی:** حضوری فعال در فعالیت‌های گروهی ـ انجام کارها و وظایف محوله

۴ **مستندسازی:** گزارش‌نویسی فعالیت‌های کارگاهی

۵ **محاسبه و کاربست ریاضی:** انجام مثال‌ها و تمرین‌ها با کمک فرمول و محاسبات ریاضی

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود

۱ مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری فشار را به‌کار گیرند.

۲ با روش‌های مختلف، اندازه‌گیری فشار فرایندها را انجام دهند.

۳ فشار سامانه‌های مختلف را کنترل نمایند.

فشار

بحث گروهی

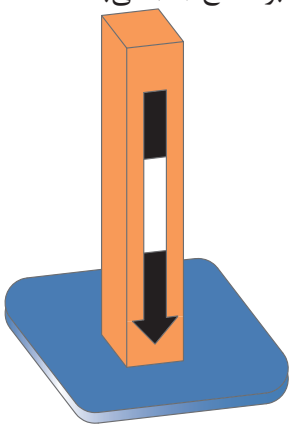
الف) شما می‌توانید به‌راحتی روی دو پا بایستید، درحالی‌که ایستادن روی یک پا دشوار بوده و زمان کوتاه‌تری قابل تحمل است. علت چیست؟
ب) با توجه به شکل زیر، در مورد فشار وارده بحث کنید.

هر جسمی مانند کتاب روی میز، آب موجود در یک لیوان و... بر روی سطحی که قرار دارند، نیرو وارد می‌کند. مطابق معادلهٔ (۱) این نیرو حاصل‌ضرب شتاب جاذبهٔ زمین و جرم جسم بوده و نیروی وزن نامیده می‌شود.

معادلهٔ (۱) $$F=m.g$$

در سامانهٔ اندازه‌گیری **SI** (متریک)، نمادهای **F**، نماد نیرو بر حسب نیوتن، **m**، نماد جرم بر حسب کیلوگرم و **g** شتاب جاذبهٔ زمین می‌باشند که مقدار متوسط آن در این سامانه $۹/۸\ m/s^۲$ است.

یک بادکنک پر از هوا را در نظر بگیرید. در این بادکنک به‌دلیل حرکت مولکول‌های هوا و برخورد آنها با دیوارهٔ بادکنک، نیروی (**F**) بر سطح داخلی بادکنک (**A**) وارد می‌شود و فشار (**P**) را بر سطح بادکنک ایجاد می‌کند. بنابراین مطابق شکل ۱ و معادلهٔ (۲) فشار (**P**) عبارت از نیروی عمودی (**F**) وارد بر سطح (**A**) می‌باشد.



شکل ۱ـ مفهوم فشار

معادلهٔ (۲) $$P=\frac{F}{A}$$

معادلهٔ (۲) نشان می‌دهد که فشار، وابسته به دو کمیت است:
۱ـ نیروی اعمال‌شده
۲ـ مساحتی که این نیرو به‌صورت عمودی به آن وارد می‌شود.

در سامانهٔ SI، یکای نیروی (N) و یکای سطح ($m^۲$) می‌باشد. بنابراین یکای فشار در این سامانه، $\frac{N}{m^۲}$ محاسبه می‌گردد که به آن پاسگال[۱] (Pa) می‌گویند.

۱ـ Pascal

پرسش

چرا سوزن خیاطی با نیروی کمی و به راحتی در اجسام فرو می‌رود؟

فیلم شمارهٔ ۱: فشار و نیرو
فیلم شمارهٔ ۲: مفهوم فشار

بحث گروهی

با استفاده از معادلهٔ (۲)، در مورد چگونگی افزایش یا کاهش فشار با تغییر سطح و یا نیرو بحث کنید.

فعالیت عملی

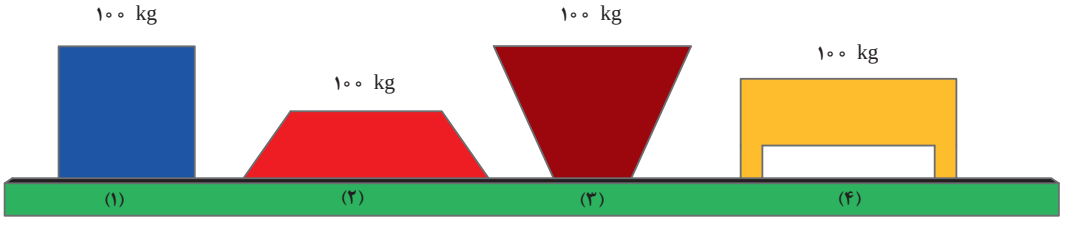
یک مکعب مستطیل فلزی یا از جنس دیگر تهیه کنید و فعالیت‌های زیر را انجام دهید:
الف) جرم مکعب را اندازه‌گیری کنید.
ب) نیروی وزن مکعب مستطیل را با استفاده از معادلهٔ (۱) محاسبه کنید.
ج) مساحت وجوه مختلف مکعب مستطیل را محاسبه کنید.
د) با استفاده از معادلهٔ (۲) محاسبه کنید که در حالت‌های مختلفی که مکعب مستطیل روی سطح قرار می‌گیرد چه فشاری ایجاد می‌کند؟

تمرین

۱ فشار ایجادشده توسط یک نیروی ۸۰۰ نیوتنی بر مساحت ۲ متر مربع را محاسبه کنید.

۲ یک سیلندر و پیستون را در نظر بگیرید. مساحت پیستون ۰/۵ متر مربع می‌باشد و درون سیلندر گازی با فشار ۳۰۰ Pa قرار دارد. نیروی وارده به پیستون را محاسبه کنید.

۳ در شکل زیر ضخامت کلیه اجسام یکسان و دارای جرم ۱۰۰ کیلوگرم می‌باشند. کدام شکل فشار بیشتری ایجاد می‌کند؟ کدام‌یک کمترین فشار را ایجاد می‌کند؟



یکاهای اندازه‌گیری فشار

با توجه به یکاهای نیرو و سطح در سامانه‌های مختلف اندازه‌گیری، یکاهای متنوعی برای اندازه‌گیری فشار وجود دارد. متداول‌ترین یکاهای اندازه‌گیری فشار عبارت‌اند از:

پاسکال: یکای اندازه‌گیری فشار در دستگاه بین‌المللی SI پاسکال می‌باشد که با نماد Pa نشان داده می‌شود. استفاده از این یکا در اندازه‌گیری‌های علمی بسیار متداول است. یک پاسکال فشار ناشی از نیروی یک نیوتن بر سطحی با مساحت یک مترمربع می‌باشد. ($۱Pa = ۱N/m^۲$)

بار[۱]: بار یکای اندازه‌گیری فشار در سامانهٔ متریک می‌باشد. یک بار معادل صد کیلو پاسکال می‌باشد.

اتمسفر[۲]: یک اتمسفر برابر با فشار ناشی از ستون آب به ارتفاع ۱۰/۳ متر است و تقریباً معادل با میانگین فشار هوا در سطح آب‌های آزاد در سطح دریا می‌باشد. هر اتمسفر برابر با ۱۰۱۳۲۵ پاسکال است.

میلی‌متر جیوه[۳]: مقدار فشار ناشی از ستون جیوه به ارتفاع یک میلی‌متر را «یک میلی‌متر جیوه» گویند. هر میلی‌متر جیوه برابر با ۱۳۳/۳۲۲۴ پاسکال می‌باشد.

پی اس آی[۴]: یکای اندازه‌گیری psi بر پایهٔ سامانهٔ انگلیسی بوده و معادل پوند نیرو بر اینچ مربع می‌باشد. این یکا متداول‌ترین یکای اندازه‌گیری فشار در صنعت می‌باشد. هر واحد psi برابر است با فشار ناشی از یک پوند نیرو به سطحی با مساحت یک اینچ مربع و هر psi برابر با ۶۸۹۴/۸ پاسکال می‌باشد.

تبدیل یکاهای فشار

در سال‌های گذشته، با تبدیل واحدها در سامانه‌های مختلف آشنا شده‌اید. به کمک جدول ۱ می‌توانید واحدهای فشار را به یکدیگر تبدیل کنید.

تمرین

۱ـ فشار چاه‌های گاز می‌تواند تا ۵۰۰۰ psi باشد. این فشار را به اتمسفر، کیلوپاسکال و میلی‌متر جیوه تبدیل کنید.

۲ـ فشار داخلی راکتور تولید آمونیاک، ۲۵۰ بار می‌باشد. این فشار را به میلی‌متر جیوه، psi و پاسکال تبدیل کنید.

تحقیق کنید

به تارنمای هواشناسی شهر خود رجوع کنید و یا از ادارهٔ هواشناسی محل سکونت خود فشار هوای محیط را بپرسید. به کمک جدول ۱ این فشار را در سامانه‌های دیگر اندازه‌گیری محاسبه کنید.

۱ـ bar

۲ـ Atmosphere

۳ـ mmHg

۴ـ psi ($lb_f/in^۲$) Pound force per square inch

جدول ۱ــ ضرایب تبدیل واحدهای فشار به یکدیگر

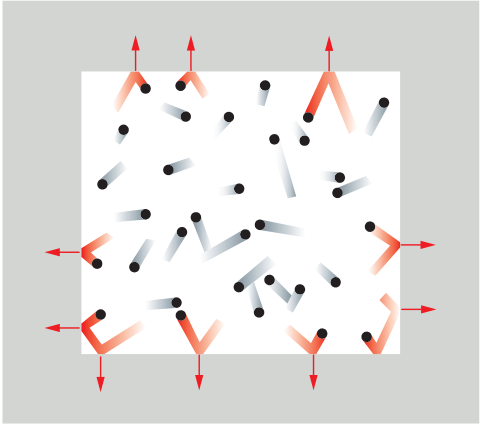
	bar	Pa	kPa	mmHg	atm	psi
bar	۱	$۱۰^{۵}$	۱۰۱/۳۲۵	۷۵۰/۰۶۴	۰/۹۸۶۹۲۳	۱۴/۵۰۳
Pa	$۱۰^{-۵}$	۱	$۱۰^{-۳}$	$۷/۵۰۰۶۴\times۱۰^{-۳}$	$۹/۸۶۹۲۳\times۱۰^{-۶}$	$۱/۴۵\times۱۰^{-۴}$
kPa	۱۰۱/۳۲۵	$۱۰^{۳}$	۱	۷/۵۰۰۶۴	$۰/۹۸۶۹۲۳\times۱۰^{-۲}$	$۱/۴۵\times۱۰^{-۱}$
mmHg	$۱/۳۳۳۲۲\times۱۰^{-۳}$	۱۳۳/۳۲۲	$۱/۳۳۳۲۲\times۱۰^{-۱}$	۱	$۱/۳۱۵۷۹\times۱۰^{-۳}$	$۱/۹۴۴۶\times۱۰^{-۲}$
atm	۱/۰۱۳۲۵	$۱۰۱/۳۲۵\times۱۰^{۳}$	۱۰۱/۳۲۵	۷۶۰	۱	۱۴/۶۹۵
psi	$۶/۸۹۴۷۵۷\times۱۰^{-۳}$	$۶/۸۹۴۷۵۷\times۱۰^{۳}$	۶/۸۹۴۷۵۷	۵۱/۷۱۴۹	$۶/۸۰۵\times۱۰^{-۲}$	۱

* به خاطر سپردن اعداد جدول الزامی نیست.

در جدول ۱، واحدهای کاربردی و متداول آمده است. واحدهای دیگری نیز برای فشار وجود دارد که می‌توانید در مورد آنها تحقیق کنید.

فشار گازها

همانند شکل ۲، مولکول‌های گاز را می‌توان به‌صورت کُره‌های کوچکی تجسم کرد که در یک ظرف بسته در حال حرکت تصادفی می‌باشند. این مولکول‌ها تمام فضای ظرف را اشغال می‌کنند و درهنگام حرکت، با یکدیگر و دیوارهٔ ظرف برخورد کرده و تولید فشار می‌کنند. فشار گاز وابسته به تعداد مولکول‌ها (عده مول)، جرم آنها و سرعت متوسط مولکول‌های گاز می‌باشد. سرعت وابسته به انرژی جنبشی گاز می‌باشد و انرژی جنبشی بیشتر به مفهوم دمای بالاتر است. هرچه تعداد مولکول‌های گاز و انرژی جنبشی افزایش پیدا کند، تعداد برخوردها به دیوارهٔ ظرف محتوی گاز افزایش می‌یابد، بنابراین میزان نیرو بر واحد سطح و در نتیجهٔ آن فشار نیز افزایش خواهد داشت.



شکل ۲ ــ نمایش حرکت مولکول‌ها در گازها

پرسش

چگونه می‌توان فشار گاز را در یک ظرف سربسته بیشتر کرد؟

فیلم شماره ۳: فشار گازها

گاز ایده آل

از آن‌جایی که مطالعهٔ گازها، به‌دلیل محدودیت‌هایی مشکل می‌باشد، دانشمندان برای حل این موضوع، گاز ایده آل را معرفی کرده‌اند. گاز ایده آل، گازی است که هیچ نیروی بین‌مولکولی، بین ذرات آن وجود ندارد و حجم مولکول‌های آن صفر می‌باشد. گرچه از دیدگاه عملی چنین گازی وجود ندارد اما این فرض کمک می‌کند تا رابطهٔ بین دما، فشار، حجم و تعداد مول گازها را بهتر درک کنیم و محاسبات ساده را انجام دهیم. در گاز ایده‌آل بین متغیرهای نام‌برده معادلهٔ (۳) برقرار است.

$$PV = nRT$$ معادلهٔ (۳)

در بسیاری از شرایط مانند فشارهای کم و گازهای غیرقطبی، گازها از خود رفتار ایده آل نشان می‌دهند و این معادله به خوبی کاربرد دارد.

لازم است در این رابطهٔ مقدار R را بدانیم. اگر حجم (V) بر حسب لیتر، فشار مطلق (P) بر حسب اتمسفر، دما (T) بر حسب کلوین و مقدار ماده (n) بر حسب گرم مول بیان شود، مقدار R ثابت عمومی گازها عبارت خواهد بود از:

$$R = ۰/۰۸۲۰۵۷ \text{ lit.atm/(K.gmol)}$$

نکته

در سامانه‌های دیگر، چنانچه واحدهای حجم، فشار و دما متفاوت باشد، مقدار R متفاوت خواهد بود.

مقدار R در سامانه‌های مختلف در جدول (۲) آمده است:

جدول ۲ـ مقدار R در سامانه‌های مختلف اندازه‌گیری

سامانه‌های اندازه‌گیری	ــــ	SI	F.P.S
مقدار ثابت عمومی گازها R	۰/۰۸۲۰۵۷ lit.atm/(K.gmol)	۸/۳۱۴۵ $Pa.m^3/(K.kmol)$	۱۹/۳۳ $psi.ft^3/(R.lbmole)$

در علوم مهندسی، دمای صفر درجهٔ سلسیوس و فشار یک اتمسفر به‌عنوان شرایط استاندارد (STP)[۱] پذیرفته شده است. در این شرایط حجم یک مول از گازها ۲۲/۴۱۴ لیتر خواهد بود. این مقدار را «حجم مولی استاندارد گازها» می‌نامند.

فیلم شماره ۴: گاز ایده‌آل

۱ـ Standard Temprature and Pressure

تمرین

۱ یک کپسول حاوی گاز نیتروژن در دمای ۲۵ درجهٔ سلسیوس دارای حجم ۱۲ لیتر و فشار مطلق ۵ اتمسفر می‌باشد. با فرض ایده آل بودن گاز نیتروژن، محاسبه کنید چند گرم گاز نیتروژن در آن وجود دارد.

۲ گاز متان در خط لوله اصلی گاز ورودی به شهرها دارای فشار ۲۵۰ psi می‌باشد، در صورتی که دمای محیط ۳۴ درجهٔ سلسیوس باشد، چگالی گاز متان را در سامانه‌های SI محاسبه کنید.

۳ حجم اشغال‌شده توسط ۲/۳۴ گرم گاز کربن دی‌اکسید در شرایط متعارفی را محاسبه کنید.

۴ نمونه‌ای از گاز آرگون در شرایط استاندارد ۵۶/۲ لیتر حجم دارد. تعداد مول و جرم آرگون را محاسبه کنید.

۵ ۰/۶۵۴ مول گاز آرگون در فشار ۱/۹۵ اتمسفر حجمی معادل ۱۲/۳ لیتر دارد. دمای گاز را محاسبه کنید.

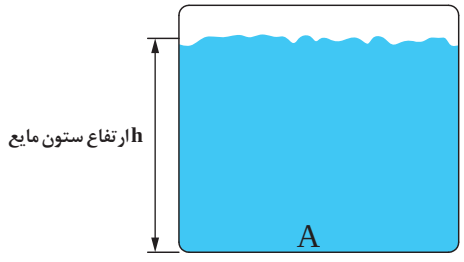
۶ یک کپسول اکسیژن در دمای ۲۵ درجهٔ سلسیوس حاوی ۴۰ کیلوگرم گاز اکسیژن در فشار ۱۸۰ بار می‌باشد. چگالی این گاز را محاسبه کنید و تفسیر کنید که آیا مقدار محاسبه‌شده دقیق می‌باشد یا خیر.

۷ ۳۰/۶ گرم از یک گاز در شرایط متعارفی ۲۲/۴۱۴ لیتر حجم دارد. جرم مولکولی گاز را محاسبه کنید.

۸ حجم یک مول از گاز در شرایط استاندارد را محاسبه کنید.

فشار مایعات

ابتدایی‌ترین مفهوم فشار مایعات مربوط به ستون مایع است. بدین طریق که اگر در یک ظرف، مایعی وجود داشته باشد، فشار در هر نقطهٔ مفروض A در کف ظرف، ناشی از وزن ذرات مایع در بالای آن نقطه می‌باشد.



شکل ۳ــ ستون مایع

فشار مایع توسط ارتفاع ستون سیال و چگالی آن توسط معادلهٔ (۴) قابل محاسبه خواهد بود.

ارتفاع × شتاب جاذبه × چگالی = فشار ستون مایع در نقطهٔ A

$$P = d.g.h$$ معادلهٔ (۴)

که در این معادله، g شتاب جاذبه زمین (m/s^2)، d چگالی سیال (kg/m^3)، h ارتفاع ستون مایع از نقطه A تا سطح آزاد مایع (m) و P فشار بر حسب Pa می‌باشند.

مثال:

ریه‌های یک فرد سالم تنها تا عمق سه متری آب قادر است به خوبی عمل کند. اگر در عمق ۳ متری دریا قرار بگیرید، بدن شما چه فشاری را تحمل می‌کند؟ چگالی آب دریا $1053\ kg/m^3$ و شتاب جاذبه را $9/8\ m/s^2$ فرض کنید.

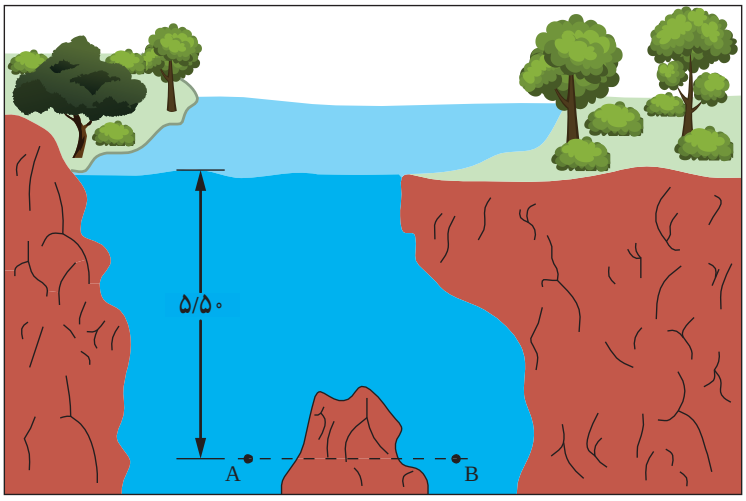
پاسخ:

$$P = d.g.h = ۱۰۵۳\ (kg/m^۳)\times ۹/۸\ (m/s^۲)\times ۳\ m = ۳۰۹۵۸/۲\ kg/m.s^۲$$

تمرین

۱ با فرض اینکه چگالی آب $kg/m^۳$ ۱۰۰۰ باشد، فشار را در کف لیوانی که تا ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر از آب پر شده است، بر حسب پاسکال، میلی‌متر جیوه، بار و اتمسفر محاسبه کنید.

۲ فشار را در نقطه‌های A و B از شکل زیر به دست آورید. آیا این دو فشار با یکدیگر برابرند؟ در صورت جواب مثبت، علت را توضیح دهید. چگالی آب را $kg/m^۳$ ۱۰۰۰ در نظر بگیرید.



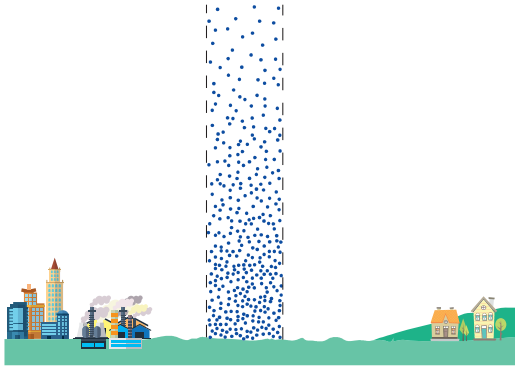
۳ یک استخر شنا دارای عرض ۹ متر و طول ۲۴ متر می‌باشد که تا عمق ۳ متر از آب پر شده است. آب موجود در استخر چه نیرویی به کف آن وارد می‌کند؟ فشار ایجادشده در کف استخر چقدر است؟

فیلم شماره ۵: فشار مایعات

فشار جو

مهم‌ترین فشار برای زندگی موجودات زنده، فشار هوای جو[۱] (P_{amb}) می‌باشد. این فشار توسط هوایی که کرهٔ زمین را تا ارتفاع تقریبی ۵۰۰ کیلومتر احاطه کرده است، ایجاد می‌گردد. در سطح دریا، جرم هوایی که می‌تواند روی یک متر مربع از سطح زمین قرار گیرد، ۱۰۰۰۰ کیلوگرم است. این جرم، فشاری معادل ۷۶۰ mmHg که برابر با ۱atm است، ایجاد می‌کند و می‌تواند به دلیل جریانات پرفشار و کم فشار هوا تا ۵٪ نوسان داشته باشد، به این مقدار فشار استاندارد جو یا فشار اتمسفریک گفته می‌شود. با افزایش ارتفاع از فشار جو کاسته شده تا به صفر مطلق (خلأ کامل) در خارج از اتمسفر برسد (شکل ۴).

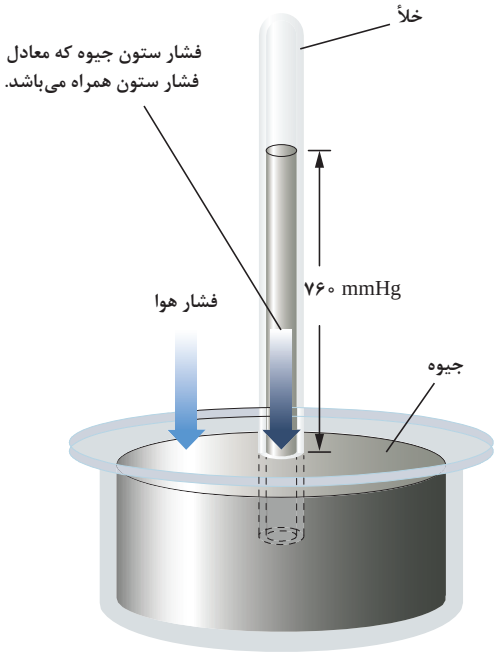
۱ـ Ambient or Atmospheric Pressure



شکل ۴ـ ستون هوا روی سطح زمین

فیلم شماره ۶: نیروی فشار هوای اتمسفریک

فشار جو توسط وسیله‌ای به نام بارومتر[۱] اندازه‌گیری می‌شود. این وسیله توسط یکی از شاگردان گالیله[۲] به نام اوانگلیستا توریچلی[۳] (۱۶۴۷ـ۱۶۰۸) اختراع شد. بارومتر شامل یک لولهٔ شیشه‌ای بلند است که انتهای آن بسته شده و توسط جیوه پر شده است. این لولهٔ وارونه درون تشتکی پر از جیوه به‌گونه‌ای فرو رفته است که هوا وارد لوله نشود. در این حال مقداری جیوه از لوله خارج خواهد شد و فضای خالی تشکیل شده، خلأیی خواهد بود که با بخار جیوه پر شده است (شکل ۵).



شکل ۵ـ بارومتر جیوه‌ای

نکته

خلأ به محیطی گفته می‌شود که فشار آن از فشار اتمسفر کمتر است. یا به‌عبارت دیگر چگالی ذرات در آن خیلی کمتر از محیط جو می‌باشد.

سؤال این است که چرا تمام جیوهٔ موجود درون لوله در تشتک تخلیه نمی‌گردد؟ قطعاً نیروی وزن جیوه ناشی از گرانش باید باعث تخلیه جیوه از لوله گردد اما این اتفاق رخ نمی‌دهد. چرا؟
علت این است که نیرویی مخالف در جهت نیروی وزن جیوه وجود دارد که باعث می‌گردد جیوه به درون لوله رانده شود. این نیرو برابر با نیروی وزن ستون جیوه موجود در لوله است. اگر این وسیله در سطح دریا باشد، مشاهده می‌شود که ارتفاع ستون جیوه برابر با ۷۶۰ میلی‌متر است.

۱ـ Barometer

۲ـ Galileo

۳ـ Evangelista Torricelli

بارومتر جیوه‌ای مدت‌های طولانی جهت اندازه‌گیری فشار هوا بر حسب میلی‌متر جیوه استفاده می‌شد، امّا امروزه بارومترهای دیجیتالی و عقربه‌ای جایگزین آن شده است (شکل ۶).

شکل ۶ـ نمونه‌ای از بارومترهای دیجیتالی و عقربه‌ای

تمرین

۱ به نظر شما اگر بارومتر را در مکانی که ۱۸۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد قرار دهیم، ارتفاع ستون جیوه از ۷۶۰ میلی‌متر جیوه کمتر خواهد بود یا بیشتر؟

۲ به نظر شما چرا توریچلی از جیوه استفاده نمود و به جای آن از آب استفاده نکرد. در صورت استفاده از آب آیا ارتفاع ستون آب همین مقدار ۷۶۰ میلی‌متر خواهد بود؟

۳ ارتفاع قلهٔ زردکوه ۴۵۴۱ متر از سطح دریا می‌باشد، فشار محیط در آنجا ۴۵۰ میلی‌متر جیوه است. این فشار را به کیلو پاسکال و اتمسفر تبدیل کنید.

فشار مطلق[۱] و فشار نسبی[۲]

فشار یک سامانه به دو صورت نسبی (P_g) و مطلق (P_a) بیان می‌گردد. عمدتاً لوازم اندازه‌گیری موجود قادر به اندازه‌گیری فشار به‌صورت نسبی هستند اما در محاسبات مهندسی همان‌گونه که در قانون گاز ایده‌آل مشاهده کردید نیازمند فشار به‌صورت مطلق می‌باشیم.

مرجع تعریف‌شدهٔ اندازه‌گیری فشار، صفر مطلق می‌باشد و مکانی است که هیچ فشاری در آن وجود ندارد و خلأ کامل برقرار است. اگر فشار را با مبنای صفر مطلق اندازه‌گیری کنیم، فشار مطلق نامیده می‌شود.

فشار نسبی که فشار گیج[۳] نیز نامیده می‌شود، متداول‌ترین روش اندازه‌گیری فشار می‌باشد. این فشار اختلاف بین فشار مطلق و فشار جو (P_{amb}) می‌باشد. فشار نسبی می‌تواند بیشتر یا کمتر از فشار محیط باشد. زمانی که از لفظ «فشار» استفاده می‌کنیم، منظور فشار بالاتر از فشار محیط می‌باشد و زمانی که منظور فشار کمتر از فشار محیط باشد از لفظ «خلأ»[۴] استفاده می‌گردد. انواع فشار در شکل ۷، نشان داده شده است.

۱ـ Absolute Pressure

۲ـ Relative Pressure

۳ـ Guage Pressure

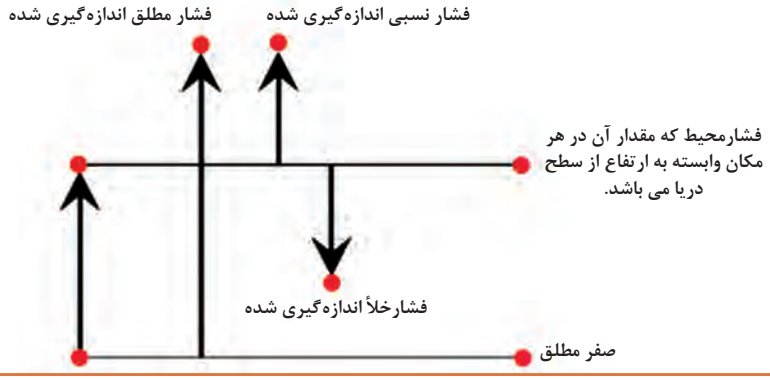
۴ـ Vaccum

رابطهٔ بین فشار مطلق، نسبی و محیط مطابق معادلهٔ ۵ است.

$$P_a = P_g + P_{amb} \qquad \text{(معادلهٔ ۵)}$$

نکته

در صورتی که فشار سامانه کمتر از فشار محیط (خلأ) باشد، عدد فشار نسبی به‌صورت عددی منفی در معادلهٔ (۵) قرار داده شود.



شکل ۷ــ بیان تصویری انواع فشار

مثال:

عمق آب در پشت دیوارهٔ سدها ممکن است تا ۸۰ متر باشد. اگر فشار محیط ۷۱۴ میلی‌متر جیوه باشد، فشار نسبی و فشار مطلق بر حسب پاسکال در بستر نزدیک دیواره را محاسبه کنید. چگالی آب را $1000\ kg/m^3$ فرض کنید.

پاسخ:

ابتدا فشار محیط را به واحد پاسکال تبدیل می‌کنیم.

$$۷۱۴\ mmHg \times ۱۰۱۳۲۵\ Pa/۷۶۰\ mmHg = ۹۵۱۹۲/۱۷\ Pa$$

فشار نسبی عبارت است از:

$$P_g = d.g.h = ۱۰۰۰ \times ۹/۸ \times ۸۰ = ۷۸۴۰۰۰\ Pa$$

فشار مطلق عبارت است از:

$$P_a = P_g + P_{amb} = ۷۸۴۰۰۰ + ۹۵۱۹۲/۱۷ = ۸۷۹۱۹۲/۱۷\ Pa$$

تمرین

۱ فشارسنج نصب‌شده روی یک سیلندر گاز عدد ۱۰۰ بار را نشان می‌دهد. اگر فشار جو ۷۴۰ میلی‌متر جیوه باشد فشار نسبی و فشار مطلق گاز درون سیلندر را بر حسب بار، اتمسفر و میلی‌متر جیوه محاسبه کنید.

۲ فشار نسبی یک تبخیرکنندهٔ خلأ، ۴۵ کیلوپاسکال است. اگر فشار محیط ۹۳ کیلو پاسکال باشد، فشار مطلق را محاسبه کنید.

۳ غوّاصی در عمق ۱۰ متری آب دریا قرار دارد. چگالی آب دریا $1053\ kg/m^3$ می‌باشد و ادارهٔ هواشناسی فشار هوا را ۷۵۵ میلی‌متر جیوه اعلام کرده است. فشار نسبی و مطلقی را که بدن غوّاص تحمل می‌کند، محاسبه کنید.

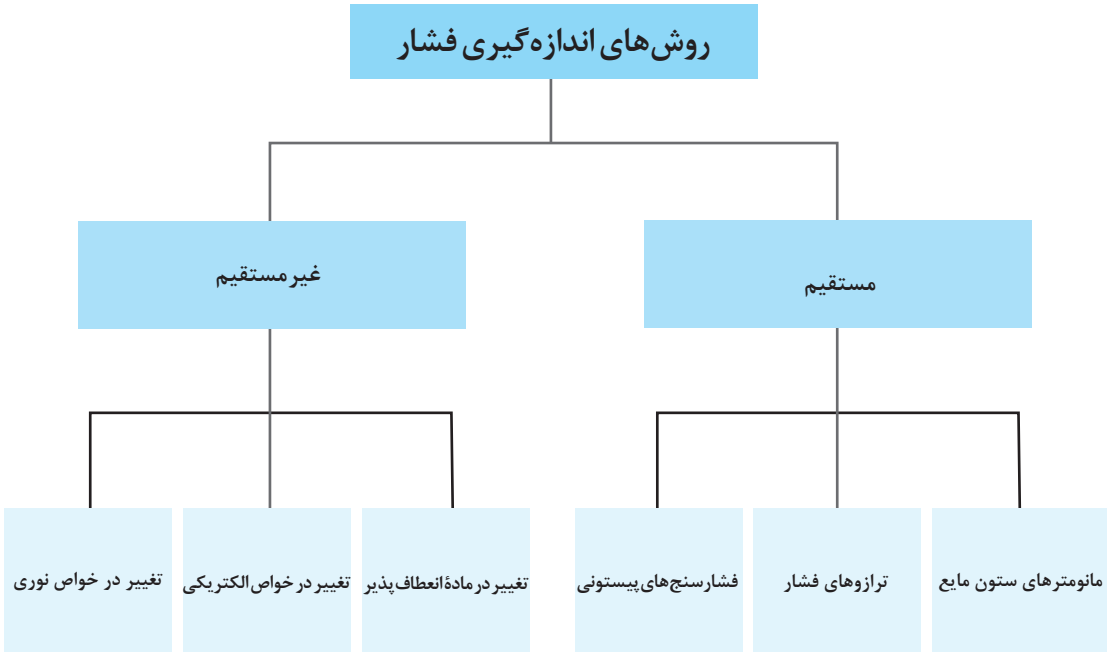
فیلم شماره ۷: بارومتر
پخش فیلم: طرز کار بارومتر عقربه‌ای

روش‌های اندازه‌گیری فشار

اندازه‌گیری و کنترل موفقیت‌آمیز فشار بستگی زیادی به روش و ابزار اندازه‌گیری فشار دارد. امروزه این وسایل دامنه‌ای بین ۱ میلی‌بار تا 10^5 بار را با دقت زیاد اندازه‌گیری می‌کنند. برای اندازه‌گیری فشار دو روش وجود دارد: مستقیم و غیرمستقیم (شکل ۸).

روش مستقیم: در این روش از معادلات اساسی فشار $P = d.g.h$ یا $P = F/A$ استفاده می‌شود و در نهایت با اندازه‌گیری مستقیم متغیرهای مربوطه، فشار محاسبه می‌گردد.

روش غیرمستقیم: در این روش مقدار فشار از انحراف در یک مادهٔ انعطاف‌پذیر یا تغییر در خواص نوری، الکتریکی، یا شیمیایی سامانه، اندازه‌گیری می‌شود.



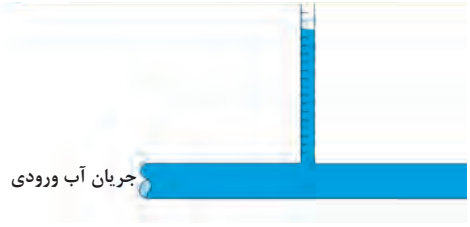
شکل ۸ـ نمایش روش‌های اندازه‌گیری فشار

تجهیزات اندازه‌گیری مستقیم فشار[1]

ـ مانومترهای ستون مایع

پیزومتر[2]

ساده‌ترین ابزار اندازه‌گیری مستقیم فشار، یک لولهٔ شیشه‌ای است که پیزومتر نامیده می‌شود. برای درک طرز کار پیزومتر، یک خط لولهٔ محتوی مایعی را در نظر بگیرید. نقطه‌ای از این خط لوله را سوراخ کنید و به آن یک لولهٔ شیشه‌ای بلند وصل کنید (شکل ۹). مشاهده می‌گردد که مایع تا ارتفاعی در لولهٔ شیشه‌ای بالا خواهد آمد، اگر این ارتفاع با h نامگذاری شود، فشار از معادلهٔ $P = d.g.h$ قابل محاسبه خواهد بود.



شکل ۹ـ پیزومتر

این نوع فشارسنج گرچه خیلی ساده می‌باشد، امّا در مورد مایعات سمّی، فشارهای بالا، گازها و فشار خلأ کاربردی ندارد.

فعالیت‌عملی

استفاده از پیزومتر برای اندازه‌گیری فشار

روش کار:

یک جفت لولهٔ شیشه‌ای با قطر یکسان تهیه کنید و روی یک خط لوله با فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر وصل کنید (شکل ۱۰).

دقت کنید که اگر شیر جریان خروجی بسته باشد، طبق قانون ظروف مرتبط ارتفاع آب در هر دو لوله یکی است.

الف) شیر خروجی را باز کنید و ارتفاع مایع در ستون پیزومترها را بخوانید (از جدول زیر کمک بگیرید).

ب) به‌طور هم‌زمان با قسمت الف، دبی حجمی آب را به‌وسیله استوانهٔ مدرج و کرنومتر محاسبه کنید.

ج) اختلاف ارتفاع‌ها و فشار معادل آن را محاسبه کنید.

د) بندهای الف تا ج را در دبی‌های مختلف تکرار کنید.

ه) منحنی افت فشار بر حسب دبی را رسم کنید.

شکل ۱۰ـ کاربرد پیزومترها در خط لوله

تحقیق کنید

ارتفاع ستون آب در ظروف مرتبط چگونه است؟

۱ـ Direct_ Measuring Pressure Instruments

۲ـ Piezometer

ردیف	ارتفاع آب در پیزومترها (cm)		اختلاف ارتفاع (cm)	اختلاف ارتفاع (m)	اختلاف فشار Pa	حجم آب جمع‌آوری شده (cm^3)	حجم آب جمع‌آوری شده (ml)	زمان (s)	دبی حجمی[1] $\frac{ml}{s}$
۱									
۲									
۳									
۴									
۵									
۶									

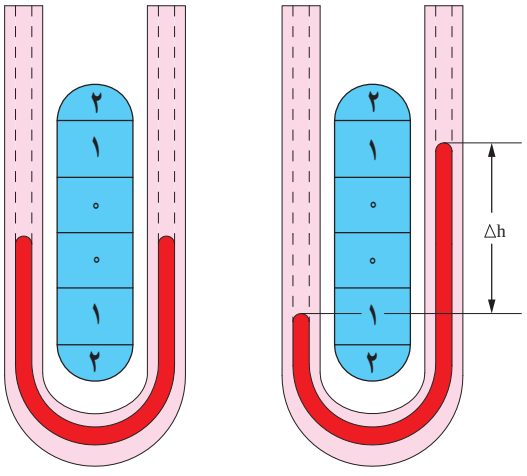
مانومتر U شکل[2]

ابزارهای زیادی برای اندازه‌گیری فشار سیالات با استفاده از ستون مایع به‌کار می‌روند. یک نوع از این فشارسنج‌ها، مانومترهای U شکل می‌باشند. معمولاً این نمونه از مانومترها، لولهٔ شیشه‌ای، U شکلی است که توسط جیوه و یا یک مایع با فرّاریت کم که به مایع مانومتری معروف است، پر شده باشد. اختلاف فشار از ارتفاع ستون مایع طبق معادلهٔ (۶) زیر محاسبه می‌گردد.

$$K\Delta P = dg\Delta h$$ معادلهٔ (۶)

Δh اختلاف ارتفاع مایع در دو ستون است که از روی یک خط‌کش درجه‌بندی شده خوانده می‌شود (شکل ۱۱).

انتخاب مایع مانومتر به اندازهٔ فشار مورد اندازه‌گیری بستگی دارد. الکل، جیوه و آب از متداول‌ترین مایعات مانومتری می‌باشند. چون چگالی سیال مانومتر وابسته به دما می‌باشد و شتاب جاذبهٔ زمین در نقاط مختلف متفاوت است، دقت این وسایل وابسته به مکان و دما است.



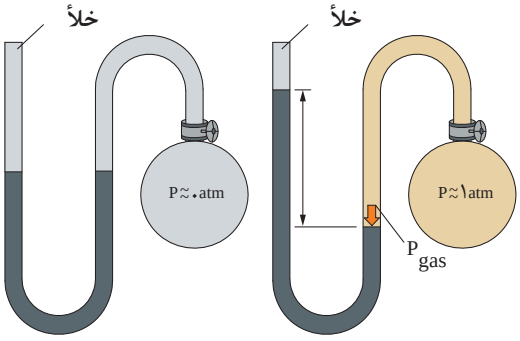
شکل ۱۱ـ مانومتر U شکل، در قسمت الف) فشار در هر دو شاخه یکسان است و در قسمت ب) فشار در شاخهٔ چپ بیشتر از شاخهٔ سمت راست است.

۱- دبی حجمی: میزان حجم سیال عبوری در واحد زمان می‌باشد که یکای آن در سامانهٔ SI بر حسب مترمکعب بر ثانیه است.

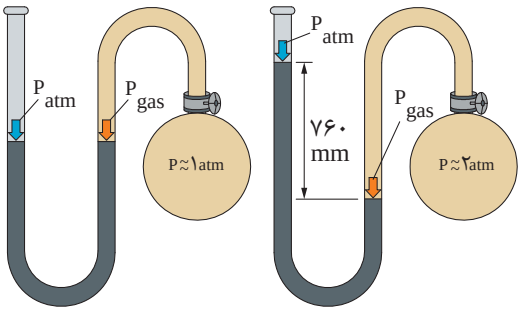
۲ـ U Type Manometer

در شکل ۱۲ مانومتر با انتهای بسته مشاهده می‌گردد که در بالای شاخهٔ سمت چپ خلأ برقرار است. زمانی که حباب سمت راست حاوی هیچ گازی نباشد و درون آن نزدیک به خلأ باشد، ارتفاع ستون جیوه در دو طرف لوله یکسان است و چنانچه در این حباب گازی با فشار یک اتمسفر وارد کنیم، ارتفاع جیوه در ستون‌ها تغییر خواهد کرد. اختلاف بین ارتفاع این دو ستون برابر با فشارمطلق گاز بر حسب طول ستون سیال به کار رفته در مانومتر خواهد بود (فشار مطلق).

در شکل ۱۳، لولهٔ سمت چپ مانومتر باز بوده و در معرض فشار محیط قرار دارد و فشار نسبی گاز را نشان می‌دهد. چنانچه حباب گازی دارای فشار یک اتمسفر باشد و فشار محیط نیز استاندارد و معادل یک اتمسفر، ارتفاع ستون جیوه در هر دو شاخه برابر خواهد بود. در صورتی که فشار گاز درون حباب از فشار محیط بیشتر شود، جیوهٔ درون شاخه سمت راست لولهٔ U شکل جابه‌جا شده و اختلاف فشار بین محیط و حباب به‌صورت اختلاف در طول ستون جیوه نمایان می‌گردد. در این حالت فشار مطلق گاز، برابر مجموع فشار ناشی از اختلاف ارتفاع ستون‌های جیوه و فشار محیط می‌باشد.



شکل ۱۲ــ مانومتر با انتهای بسته (فشار مطلق)



شکل ۱۳ــ مانومتر با انتهای باز (فشار نسبی)

پرسش

اگر فشار درون حباب شکل ۱۳ کمتر از فشار محیط (خلأ) باشد، اختلاف ارتفاع ستون‌های جیوه چگونه خواهد بود. در این صورت فشار مطلق گاز چگونه محاسبه می‌گردد؟

تمرین

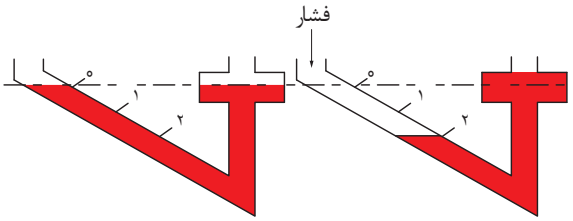
۱ قرار است با یک مانومتر با انتهای بسته فشار گازی را اندازه‌گیری کنید که بین ۰ تا ۰/۲ اتمسفر در نوسان است. به دلیل سمّی بودن جیوه تصمیم داریم از آب به جای جیوه درون مانومتر استفاده کنیم. برای آب به چه طولی از ستون نیازمندیم؟ در ۲۵ درجهٔ سلسیوس چگالی آب $0/9970\ g/cm^3$ و چگالی جیوه $13/53\ g/cm^3$ می‌باشد.

۲ فرض کنید برای اندازه‌گیری فشاری معادل یک اتمسفر توسط مانومتر U شکل به جای جیوه در مکانی که دمای آن ۳۰ درجهٔ سلسیوس است از گالیوم با نقطهٔ ذوب $29/76^\circ C$ استفاده کنیم. چگالی گالیوم در برابر با $6/114\ g/cm^3$ است. در این حالت، به چه طولی از ستون مانومتر نیازمندیم؟

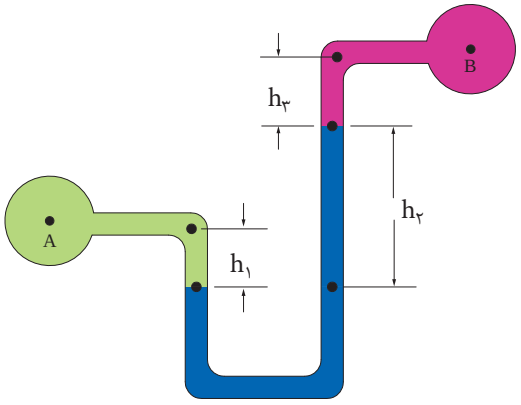
نکته

هنگام انتخاب مانومتر دقت کنید که بیشترین مقدار فشار فرایند، ۷۰ درصد فشار نهایی قابل اندازه‌گیری توسط مانومتر باشد. مثلاً برای فرایندی که بیشترین فشار آن ۷۰ بار است، از مانومتری استفاده می‌گردد که تا ۱۰۰ بار را بتواند اندازه‌گیری کند.

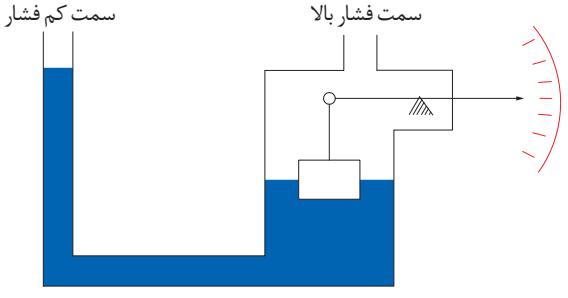
انواع دیگر مانومترهای ستون مایع، مانومتر با لولهٔ مورب[۱]، مانومتر با چند مایع مانومتری[۲]، مانومترهای نوع شناور[۳] می‌باشند (شکل‌های ۱۶ـ۱۴).



شکل ۱۴ـ مانومتر با لولهٔ مورب



شکل ۱۵ـ مانومتر با چند مایع مانومتری



شکل ۱۶ـ مانومتر نوع شناور

۱ـ Inclined- Tube Manometer

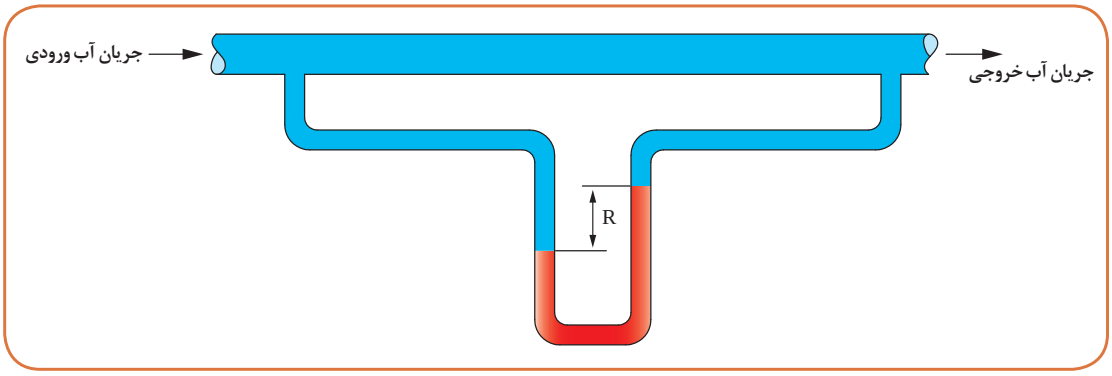
۲ـ Multiple Liquid Manometer

۳ـ Float- type Manometer

فعالیت‌عملی

ساخت مانومتر U شکل

مطابق شکل ۱۷ و با استفاده از انواع لوله‌های شیشه‌ای و پلیمری، یک مانومتر U شکل مدرج متصل به خط لولهٔ آب بسازید. آیا می‌توانید توسط مانومتر ساخته شده اختلاف فشار آب را تا فاصله یک متری اندازه‌گیری کنید؟



شکل ۱۷ــ یک نمونه مانومتر U شکل

فعالیت‌عملی

استفاده از مانومتر U شکل برای اندازه‌گیری فشار ستون مایع

روش کار:

با استفاده از یک لولهٔ پلیمری و نوارهای کاغذی، یک مانومتر U شکل مدرج آماده کنید. مطابق شکل ۱۸ وسایل آزمایش را سوار کنید.

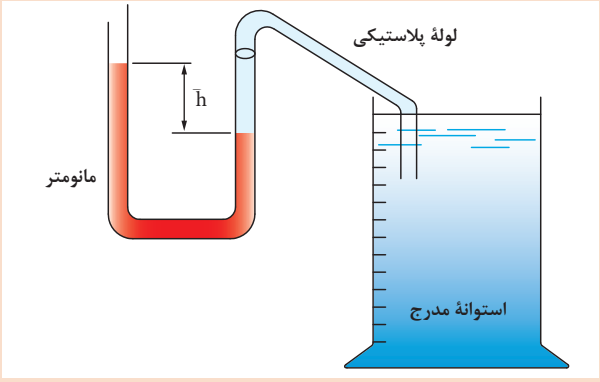
الف) ارتفاع استوانهٔ مدرج را از بالا تا پایین بر حسب سانتی‌متر درجه‌بندی کنید.

ب) استوانه را تا نقطهٔ صفر درجه‌بندی شده از آب پر نمایید.

ج) جدولی مطابق جدول صفحهٔ بعد رسم کرده و با فرو بردن نوک لولهٔ پلاستیکی درون استوانه، در ارتفاع‌های مختلف اطلاعات خواسته‌شده را تکمیل کنید.

د) نمودار تغییرات فشار (P) را بر حسب ارتفاع ستون مایع (h) رسم کنید.

ه) از این نمودار چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



شکل ۱۸ــ استفاده از مانومتر U شکل برای اندازه‌گیری فشار ستون مایع

ردیف	ارتفاع ستون مایع h		اختلاف ارتفاع ستون مایع مانومتری		فشار P
	cm	m	cm	m	Pa
۱	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۱۰	۰/۱			
۳	۲۰				
۴	۳۰				
۵	۴۰				
۶	۵۰				
۷	۶۰				

ــ ترازوی فشار

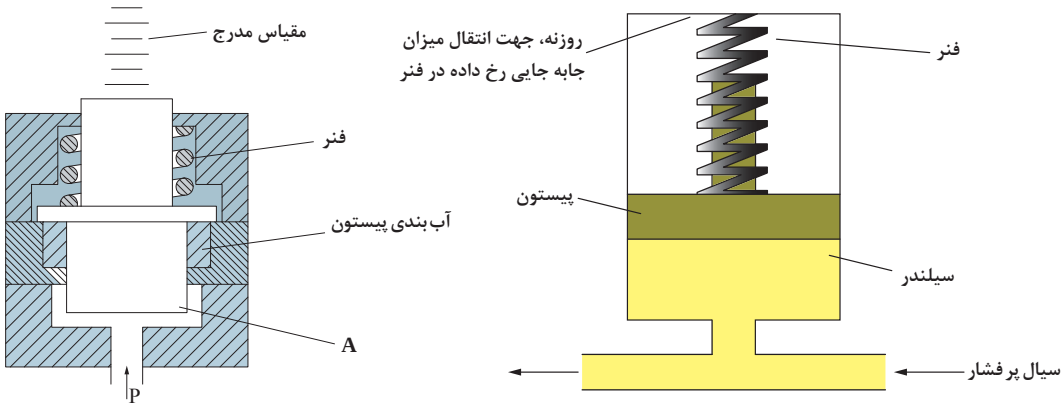
وسایل دیگری مانند ترازوهای فشار[۱] وجود دارند که از فرمول $\Delta P = d.\ g.\ \Delta h$ برای اندازه‌گیری مستقیم فشار استفاده می‌کنند (شکل ۱۹).

شکل ۱۹ــ ترازوی فشار

فشارسنج پیستونی[۲]: از این وسایل به روش مستقیم و از معادلهٔ اساسی فشار استفاده می‌کنند ($P=F/A$). در این وسایل فشار، بر سطح مشخص A یک پیستون آب‌بندی‌شدهٔ وارد می‌شود و تولید نیروی F می‌نماید. این نیرو باعث جمع‌شدن یک فنر می‌گردد که میزان جابه‌جایی فنر تابعی از فشار می‌باشد و می‌توان آن را روی یک مقیاس مدّرج مشاهده نمود (شکل ۲۰). دامنهٔ اندازه‌گیری این وسیله ۱۵ تا ۱۵۰۰۰ psi و با دقت بین ۱ تا ۵ درصد است.

۱ـ Pressure Balances

۲ـ Piston type Pressure Measuring Istrument



شکل ۲۰ـ مانومتر نوع پیستونی

فیلم شماره ۸: مانومتر U شکل

تجهیزات اندازه‌گیری غیرمستقیم فشار[۱]

در این روش‌ها از تأثیر فشار بر یک مادهٔ انعطاف‌پذیر و تغییر شکل آن و یا تغییر در خواص الکتریکی، مغناطیسی، نوری و یا شیمیایی مواد در اثر فشار استفاده می‌گردد. فشارسنج بوردون[۲] متداول‌ترین نوع فشارسنج از این دسته است. در ادامه انواع فشارسنج بوردون توضیح داده می‌شود.

لولهٔ بوردون[۳]: لولهٔ بوردون از یک لولهٔ خمیده عمدتاً از جنس فلز و با قابلیت ارتجاعی تشکیل شده است. این لوله از یک طرف مسدود و از طرف دیگر آزاد می‌باشد. فشار ورودی از سر باز لوله وارد می‌شود و سر مسدود به نسبت فشار وارده به سمت خارج از شعاع منحرف می‌گردد. این انحراف با انجام تنظیمات می‌تواند به عنوان مرجع اندازه‌گیری فشار مورد استفاده قرار گیرد. با انتقال این حرکت به یک عقربه، می‌توان فشار را اندازه‌گیری نمود. جنس لولهٔ بوردون وابسته به نوع سیال و دامنهٔ فشار مورد اندازه‌گیری می‌باشد. جدول ۳ جنس مناسب لولهٔ بوردون سازگار با انواع سیالات را نشان می‌دهد.

جدول ۳ـ جنس مناسب لولهٔ بوردون برای فرایندها و فشارهای مختلف

سیال	جنس لولهٔ بوردون	دامنهٔ فشار (psi)
آب و هوا	آلیاژ فسفر برنز	۱۰۰۰
فراورده‌های نفتی	انواع فولاد	۳۰۰۰
محصولات خورنده و یا دارای فشار بخار زیاد	فولاد ضد زنگ	۸۰۰

۱- Indirect- Measuring Pressure Instruments
۲- Burdon Guage
۳- Burdon Tube

انواع لولهٔ بوردون

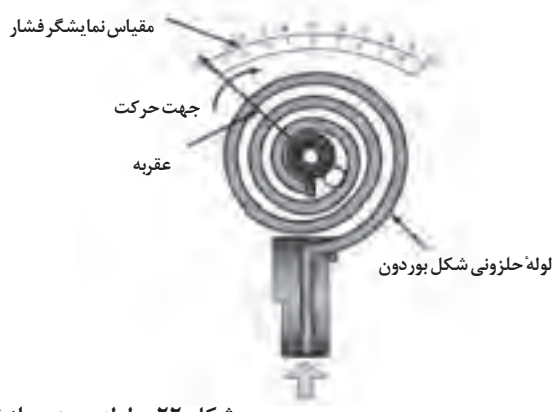
۱ـ حسگر C شکل[۱]: این نوع حسگر برای فشارهای نسبتاً پایین مناسب است. همان‌طور که در شکل ۲۱ مشاهده می‌کنید با وارد شدن فشار به یک لولهٔ C شکل، سر دیگر به سمت بیرون منحرف می‌شود. این حرکت توسط یک اهرم که انتهای آن به یک چرخ دندهٔ قطاعی متصل شده، منتقل می‌گردد. چرخ دندهٔ قطاعی با یک چرخ دندهٔ کوچک‌تر درگیر شده که عقربه را می‌چرخاند. در نتیجه با واردشدن فشار به فشارسنج، موقعیت عقربه در روی صفحه تغییر می‌کند و مقدار فشار را نشان می‌دهد. یک فنر پیچشی متصل به چرخ‌دندهٔ دوّار نیز کمک می‌کند تا با برداشته شدن فشار، عقربه به موقعیت قبلی بازگردد.

شکل ۲۱ـ نمای درونی و بیرونی فشارسنج بوردون از نوع C

۲ـ حسگر نوع حلزونی[۲]: برای افزایش حساسیت و دقت در اندازه‌گیری فشارهای پایین، طول لولهٔ بوردون را افزایش می‌دهند. گاهی ممکن است طول لولهٔ بوردون به قدری زیاد شود که زاویهٔ آن از ۳۶۰ درجه هم بگذرد (شکل ۲۲)، یعنی لوله به‌صورت یک دایرهٔ کامل در آمده و از آن هم تجاوز کند. در این حالت لوله به شکل مارپیچ درخواهد آمد، اما سازوکار اندازه‌گیری فشار همانند لولهٔ C شکل می‌باشد.

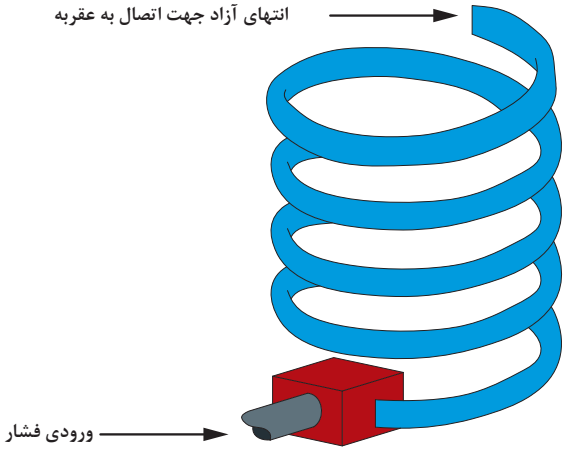
۱ـ C Type Sensor

۲ـ Spirsl Sensor



شکل ۲۲ـ لوله بوردون از نوع حلزونی

۳ـ حسگر نوع حلقوی[1]: برای اندازه‌گیری فشارهای بالا تا ۱۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع از لولهٔ بوردون حلقوی استفاده می‌گردد. فشارسنج‌ها و ثبت‌کننده‌هایی که از لولهٔ بوردون نوع حلقوی و حلزونی استفاده می‌کنند، دارای اصطکاک کمتر و حساسیت زیادتری می‌باشند. در این نمونه نیز سازوکار انتقال حرکت به عقربه مانند انواع دیگر می‌باشد (شکل ۲۳).



شکل ۲۳ـ لولهٔ بوردون از نوع حلقوی

علاه بر فشارسنج‌های نوع بوردون، انواع دیگر فشارسنج که بر اساس تأثیر فشار بر یک مادهٔ انعطاف‌پذیر کار می‌کنند مانند فشارسنج دیافراگمی وجود دارند.

فیلم شماره ۹: فشارسنج بوردون
فیلم شماره ۱۰: ساخت فشارسنج بوردون

۱ـ Helical Sensor

تحقیق کنید

مقایسه‌ای بین مانومترها و فاشرسنج بوردون از نظر کاربرد انجام دهید.

فعالیت‌عملی

آشنایی با فشارسنج بوردون

روش کار: از یک فشارسنج بوردون و یک نوع کمپرسور هوا استفاده کنید. در صورت عدم دسترسی به کمپرسور، می‌توانید از لاستیک بادشدهٔ خودرو و یا تلمبهٔ دستی استفاده کنید.

الف) ابتدا فشارسنج را باز کنید و اجزای داخلی آن را مورد بررسی قرار دهید و با تکان دادن ملایم لولهٔ بوردون، سازوکار انتقال حرکت به عقربه را بررسی کنید.

ب) با اتصال فشارسنج به یک منبع پرفشار مانند کمپرسور و یا لاستیک خودرو، به شیوهٔ تغییر شکل لولهٔ بوردون و انتقال این حرکت به عقربه توجه کنید و مشاهدات خود را یادداشت کنید.

پرسش

اگر لولهٔ بوردونی که برای فشار ۱۰ بار طراحی گردیده است، در معرض فشار بالاتری قرار بگیرد، چه اتفاقی رخ خواهد داد؟

اندازه‌گیری الکتریکی فشار

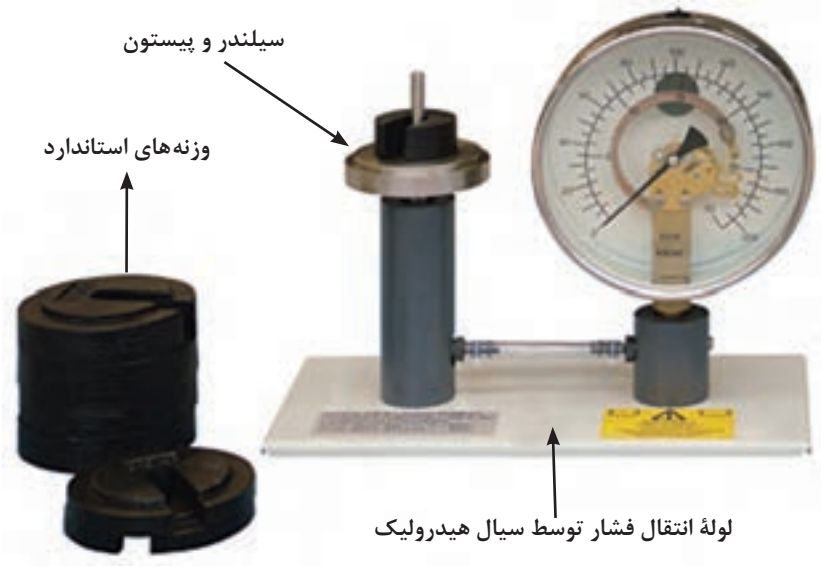
در اندازه‌گیرهای ارتجاعی مانند فشارسنج بوردون، معمولاً فشار اندازه‌گیری‌شده باید به کمیتی الکتریکی تبدیل شود. این امر استفاده از قطعات و اجزای اضافی و افزایش هزینه را به دنبال داشته و همچنین میزان خطا را افزایش می‌دهد. اندازه‌گیرهای الکتریکی فشار، فشار را مستقیماً به کمیتی الکتریکی مانند ولتاژ و یا شدت جریان الکتریکی تبدیل می‌نمایند و از این نظر صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در هزینه‌ها می‌شود و دقت اندازه‌گیری نیز افزایش می‌یابد. این ابزار بر اساس تغییر در مقاومت الکتریکی ناشی از فشار، ایجاد جریان الکتریکی، تغییر در ظرفیت یک خازن و ...، فشار را به یک موج الکتریکی قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌کند. یک نمونه از اندازه‌گیری‌های الکتریکی فشار، انواع فشارسنج‌های دیجیتالی می‌باشد (شکل ۲۴).

شکل ۲۴ـ مانومتر دیجیتال قابل حمل و ثابت

تنظیم فشارسنج‌ها

تمامی وسایل اندازه‌گیری پس از مدتی، از دقت و حساسیت آنها کاسته می‌شود و باید دوباره تنظیم شوند. اصول تنظیم فشارسنج‌ها وابسته به نوع فشارسنج می‌باشد. در مورد فشارسنج‌های بوردون این کار بسیار ساده بوده و از قانون $P=F/A$ استفاده می‌شود. این روش به روش بار مرده[1] معروف است (شکل ۲۵).

در این روش، یک وزنه با جرم معلوم روی یک پیستون آب‌بندی‌شده با سطح مقطع ثابت قرار می‌گیرد. نیروی وزن وزنه تقسیم بر مساحت پیستون فشاری ایجاد می‌کند که میزان آن از معادلهٔ اساسی فشار معلوم است این فشار توسط یک سیال هیدرولیک به فشارسنج منتقل می‌گردد. اگر فشارسنج عدد صحیح را نشان بدهد، تنظیم (کالیبره) است و در غیر این صورت تنظیم می‌شود.



شکل ۲۵ـ سامانهٔ تنظیم فشارسنج بوردون به روش بار مرده

تنظیم‌کننده‌های فشار[2]

هوای فشرده، گازهای صنعتی، گاز شهری و انواع دیگر گازها، توسط سیلندرهای فلزی و کامپوزیتی و یا خطوط لوله منتقل می‌شوند. جهت ایجاد نیروی محرکه در خط لوله‌های گاز و غلبه بر افت فشار در طول مسیر و نیز جهت ذخیره‌سازی بیشتر گاز در سیلندرها و خطوط لوله، آنها را تحت فشار ذخیره و منتقل می‌کنند. به‌عنوان مثال گاز طبیعی موجود در خط لوله‌های گاز بین شهرها تا ۶۰۰ psi فشار دارد.

۱ـ Dead Weight Method

۲ـ Pressure Regulators

اما مصرف‌کننده‌های گاز نیاز به فشارهای پایین‌تری در حد ۰/۲۵psi دارند. کاهش فشار زیاد به فشار مناسب توسط تنظیم‌کننده‌های فشار یا رگولاتورها صورت می‌پذیرد.

متغیرهای زیادی در انتخاب یک رگولاتور مناسب نقش دارند که شامل دامنهٔ فشار عملیاتی ورودی و خروجی، شدت جریان موردنیاز، نوع و مشخصات سیال (گاز یا مایع بودن و یا سمّی و خورنده بودن)، دمای عملیاتی و... می‌باشد. معمولاً جنس رگولاتورها از انواع کامپوزیت،برنج، آلومینیوم و فولادهای ضدزنگ است.

انتخاب رگولاتور مناسب بر چهار اصل استوار است که عبارت‌اند از:

ـ طرّاحی مناسب و جنس متناسب با گاز موردنظر

ـ دامنهٔ فشار کپسول و فشار موردنیاز

ـ دامنهٔ دقت اندازه‌گیری

ـ شدت جریان گاز

رگولاتورهای گازی دارای فشارها و کاربردهای مختلفی هستند (شکل‌های ۲۶ تا ۲۸). برخی مانند رگولاتورهای گاز شهری در مواقعی که فشار خط لوله کم می‌شود، جریان گاز را برای مصرف‌کننده قطع می‌کنند.

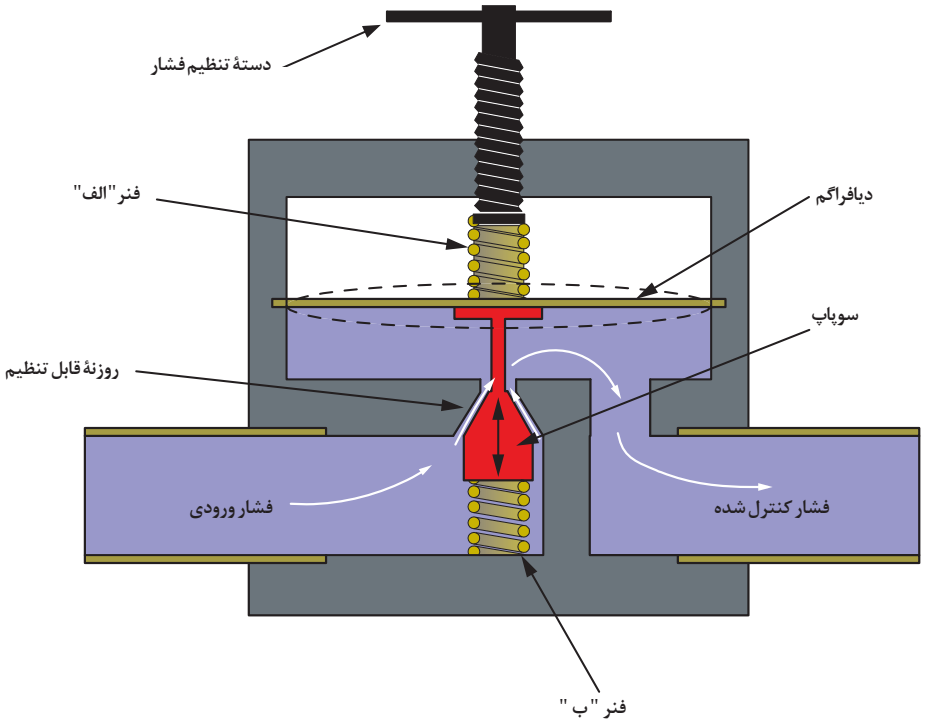
شکل ۲۶ـ رگولاتور گاز شهری

شکل ۲۷ـ رگولاتور گازهای صنعتی

شکل ۲۸ـ رگولاتور گاز مایع

شیر فشارشکن[1]

شیرهای فشارشکن، گونه‌ای از شیرهای صنعتی می‌باشند که جهت تنظیم، کاهش و ثابت نگه داشتن فشار خروجی سیالاتی مانند بخار، آب و گازهای صنعتی در خطوط انتقال، شبکه و توزیع مواد خام مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک نوع از شیرهای فشارشکن با عملکرد مستقیم[2] در شکل ۲۹ نشان داده شده است.



شکل ۲۹ـ طرح ساده‌ای از یک شیر فشارشکن با عملکرد مستقیم

طرز کار شیر فشارشکن با عملکرد مستقیم به این صورت است که با چرخاندن دستهٔ تنظیم فشار در جهت عقربهٔ ساعت، فنر «الف» به دیافراگم نیرو وارد می‌کند، این نیرو به سوپاپ وارد می‌شود و سوپاپ، علاوه بر کنار رفتن و باز کردن مسیر سیال، فنر «ب» را فشرده می‌کند. چنانچه فشار سیال ورودی به هر دلیلی افزایش یابد، در اثر نیروی ایجاد شده ناشی از افزایش فشار، نیروی وارده به دیافراگم افزایش پیدا می‌کند و فنر «الف» را فشرده می‌کند و سپس فنر «ب» سوپاپ را به بالا می‌راند و مسیر عبور سیال را محدود می‌کند تا زمانی که فشار سیال ورودی آن‌قدر کم شود که نیروی وارده به دیافراگم و نیروی فنر «الف» برابر شوند.

فیلم شمارهٔ ۱۱ و ۱۲: شیر فشارشکن

۱ـ Pressure Reducing Valve

۲ـ Direct Acting Pressure Reducing Valve

تجهیزات آرام‌سازی و کاهش فشار[1]

در واحدهای صنعتی ممکن است به دلایل گوناگون فشار سامانه از حد مجاز و یا حد قابل تحمّل طرّاحی‌شده، بیشتر شود، در این صورت احتمال نشتی سیال و انفجار سامانه وجود خواهد داشت. به همین دلیل سامانه‌های کنترل به‌طور دائم فشار را کنترل می‌کنند.

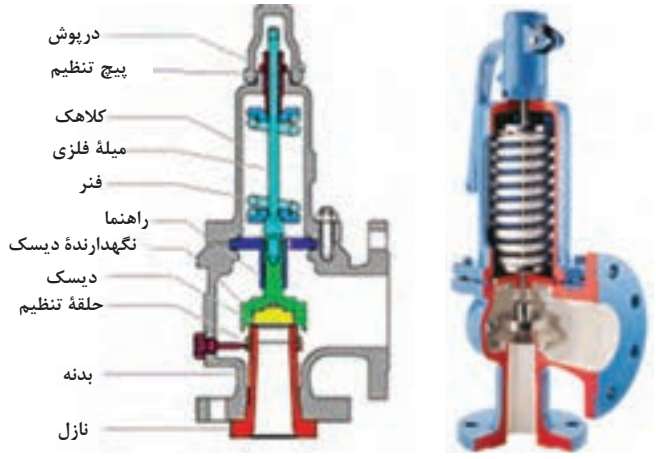
در صورت افزایش فشار و عدم توانایی سامانه‌های خودکار، سامانه‌های هشدار و ایمنی فعّال می‌شوند و کاربرها به‌صورت دستی برای کنترل فشار اقدام خواهند کرد. چنانچه هیچ‌کدام از این راه‌حل‌ها فشار را کنترل نکنند، تجهیزات آرام‌سازی و رهاسازی فشار به عنوان آخرین عنصر از زنجیرهٔ ایمنی سامانه، فشار اضافه را به بیرون هدایت می‌کنند.

امروزه در بازار انواع مختلف تجهیزات کاهش فشار وجود دارند که به دو دستهٔ بسته‌شونده[2] و غیر بسته‌شونده[3] تقسیم‌بندی می‌گردند. در ادامه توضیح مختصر این نوع تجهیزات آورده شده است.

الف) تجهیزات کاهش فشار بسته‌شونده

این وسایل به گونه‌ای طراحی شده‌اند که بتوانند پس از آزادکردن فشار اضافی، دوباره بسته شوند تا نه تنها مواد اضافی از سامانه خارج نشود بلکه سامانه بتواند به عملیات خود ادامه دهد. انواع این تجهیزات عبارت‌اند از:

۱ـ شیر ایمنی[4]: این وسیله در سامانه‌های بخار استفاده می‌شود و در اثر نیروی ناشی از افزایش فشار درون سامانه، باز می‌شود و با کاهش فشار، بسته می‌شود (شکل ۳۰).



شکل ۳۰ـ شیر ایمنی

این شیر از قسمت نازل به بدنهٔ سامانهٔ تحت فشار متصل می‌گردد، با برداشتن درپوش و با محکم‌کردن پیچ تنظیم، می‌توان دامنهٔ عملکرد فشاری شیر ایمنی را بالا برد تا در فشار بالاتری عمل کند. بسته‌شدن این پیچ باعث می‌گردد، فنر تحت فشار جمع شود و نیروی بیشتری روی دیسک وارد کند. چنانچه فشار سامانه از حدی که تنظیم گردیده است بالاتر رود، فشار وارده به دیسک، نیرویی ایجاد می‌کند که بر نیروی فنر غلبه می‌نماید و دیسک به عقب رانده شده و مسیر خروج بخار باز می‌شود.

۱ـ Pressure Relief Devices

۲ـ Reclosing Pressure Relief Devices

۳ـ Non- Reclosing Pressure Relief Devices

۴ـ Safety Valve

با تخلیهٔ بخارات، فشار سامانه کاهش می‌یابد و نیروی وارده به دیسک کمتر می‌شود و زمانی که فشار کمتر از نیروی فنر شود، دیسک به جای خود باز می‌گردد و مسیر را مسدود می‌کند.

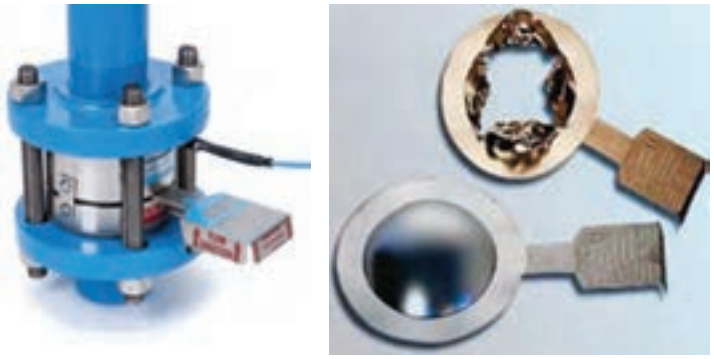
۲ـ شیر رهاسازی[۱]: این شیر برای سامانه‌های تحت فشار حاوی مایعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نمونه از شیر از دید ظاهری و عملکرد مشابه شیر ایمنی می‌باشد ولی برای سامانه‌های مایع طراحی شده است (شکل ۳۱). مشابه این شیر را می‌توانید بالای مخازن آبگرمکن‌های مخزنی مشاهده کنید.

شکل ۳۱ـ نمای بیرونی و درونی شیر رهاسازی

۳ـ شیر ایمنی اطمینان[۲]: عملکرد این نوع شیر هم مانند دو مورد قبلی می‌باشد و تنها تفاوت آن در این است که به گونه‌ای طراحی شده است که در سامانه‌های مایع و بخار نیز قابلیت استفاده دارد.

ب) تجهیزات کاهش فشار غیر بسته‌شونده

اگر شیرهای ایمنی و اطمینان به هر دلیلی عمل نکنند، آخرین عضو سامانهٔ ایمنی وارد عمل می‌شود و با باز کردن یک مسیر خروجی، مواد اضافه را به بیرون از سامانه هدایت می‌کند. این نمونه پس از عمل کردن بسته نمی‌شود. یک نمونه از این سامانه‌ها دیسک پاره‌شونده یا دیسک‌انفجاری[۳] می‌باشد (شکل ۳۲).



شکل ۳۲ـ دیسک انفجاری قبل و بعد از پاره‌شدن و چگونگی نصب آن

این دیسک‌ها در هنگام افزایش فشار مخزن پاره شده و فشار درون مخزن را آزاد می‌کنند و سامانه را از ترکیدن و یا آتش‌سوزی محافظت می‌کنند. این دیسک‌ها پس از پاره‌شدن قابلیت استفاده ندارند و باید تعویض گردند.

نمونهٔ دیگری از این تجهیزات «مجرای ذوب‌شدنی»[۴] می باشد. این مجرا یک قطعهٔ فلزی سوراخ‌دار است که سوراخ‌های آن توسط یک آلیاژ فلزی از سرب، بیسموت، آنتیموان و قلع با نقطهٔ ذوب معین پر شده است. در صورت بالا رفتن دمای سامانه‌های تحت فشار، این آلیاژ ذوب می‌شود و مسیر را برای خروج فشار اضافه باز می‌کند (شکل ۳۳).

۱ـ Relief Valves ۲ـ Safety Relief Valves ۳ـ Rupture Disc ۴ـ Fusible Plug

شکل ۳۳ـ مجرای ذوب شدنی روی شانه یک سیلندر گاز تحت فشار و یک مجرای ذوب‌شدنی مجزا قبل از نصب

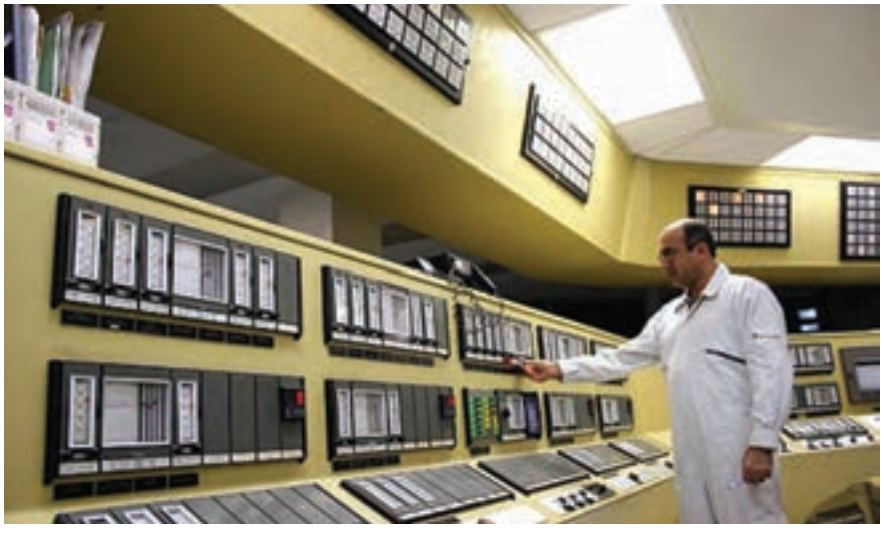
فیلم شماره ۱۳: دیسک انفجاری

پرسش

آیا بدون اندازه‌گیری و کنترل فشار می‌توان محصولات مختلف را در صنایع شیمیایی تولید کرد؟

اتاق فرمان[1]

در اتاق فرمان، متخصصین فرایند، بر کلیهٔ تحولات، نظارت دقیق دارند و در صورت لزوم فرمان‌های دستی یا خودکار را صادر می‌کنند (شکل ۳۴). در حالت عادی، فرایند به صورت خودکار کنترل می‌شود و محصولات به صورت ایمن و با ملاحظات زیست‌محیطی و با کیفیّت و کمیّت مورد نظر تولید می‌گردند.



شکل ۳۴ـ اتاق فرمان موجود در پالایشگاه گاز

۱ـ Control Room

در اتاق‌های فرمان علاوه بر کنترل فرایند، کلیهٔ اتفاقات فرایندی توسط نشانگرها[1] نمایش داده و ثبت می‌گردند. نشانگرها برای نمایش مقدار عددی یک متغیر در تابلو کنترل و یا اتاق فرمان مورد استفاده قرار می‌گیرند. در اتاق‌های فرمان امروزی، مشاهده و ثبت متغیرهای فرایندی نظیر دما و فشار توسط سامانه‌های رایانه‌ای صورت می‌پذیرد و به‌راحتی می‌توان به اطلاعات آنی و یا ذخیره‌شده دسترسی داشت.

فیلم شماره۱۴: اتاق فرمان

نشانگرها

یکی از اجزای مهم سامانهٔ کنترل یا همان ابزار دقیق، نشان‌دادن متغیرهای اندازه‌گیری به‌گونه‌ای است که کاربران به سادگی به آن دسترسی داشته باشند. نشانگرها دو دسته‌اند: نشانگر آنالوگ و نشانگر دیجیتال.

نشانگر آنالوگ: این نشانگرها مقدار خوانده‌شده متغیر را به یک قلم که بر روی یک صفحهٔ شطرنجی در حال حرکت است، منتقل می‌کنند. نشانگرهای آنالوگ معمولاً عقربه‌ای دارند که روی یک صفحهٔ مقیاس کالیبره‌شده حرکت می‌کند. به‌عنوان مثال در فشارسنج نوع بوردون نشانگر یا همان عقربه عدد فشار را روی یک مقیاس مدوّر که همان صفحهٔ فشارسنج است، نشان می‌دهد.

نشانگر دیجیتال: در نوع دیجیتال مقدار خوانده‌شده به شکل عدد، یا موج مغناطیسی و یا نقطه‌ای که روی کاغذهای حرارتی شکل می‌گیرند، ثبت می‌شوند.

ثبات‌ها[2]

برای ثبت اندازه‌گیری‌ها از ثبات استفاده می‌شود. ثبات زمانی استفاده می‌گردد که نیاز به دانستن و داشتن جزییات تغییرات در طول زمان می‌باشد. ثبات‌ها انواع گوناگونی دارند که عبارت‌اند از:

شکل ۳۵ـ دو نوع ثبات کاغذی

ثبات‌های کاغذی[3]: این ثبات‌ها دارای کاغذ می‌باشند و متغیرهای فرایندی نظیر فشار را بر حسب زمان روی کاغذ ثبت می‌کنند (شکل ۳۵). کاغذ ثبات با سرعت معلوم حرکت می‌کند و یک قلم، تغییرات متغیرهای مورد نظر را روی کاغذ ثبت می‌کند و کاربر می‌تواند با رجوع به آن، تاریخچه‌ای از زمان وقوع رخدادها را داشته باشد. به‌علاوه این اتفاقات ثبت‌شده را می‌توان بایگانی نمود. برخی از این نوع ثبات‌ها تا ۱۶ عدد قلم برای ثبت ۱۶ متغیر هم‌زمان را دارا هستند.

ثبات‌های بدون کاغذ

شکل ۳۶ـ یک نوع ثبات جدید

این نمونه‌ها نسل جدیدی از ثبات‌ها می‌باشند که نیاز به کاغذ و قلم در آنها به کمک فناوری‌های جدید از بین رفته است. این ثبات‌ها دارای صفحهٔ نمایش، قابلیت اتصال به اینترنت، ارسال داده‌ها و... می‌باشند (شکل ۳۶).

۱ـ Indicators ۲ـ Recorders ۳ـ Pen Recorder

فعالیت‌عملی

کنترل فشار:

روش کار:

برای انجام این فعالیت از یک اتوکلاو یا یک دیگ زودپز مجهز به فشارسنج، مطابق شکل ۳۷ استفاده کنید.

الف) حدود $\frac{۱}{۵}$ از مخزن را از آب پر نموده و درب مخزن را مطابق دفترچهٔ راهنمای آن ببندید.

ب) اتوکلاو را روشن کنید تا آب درون مخزن شروع به گرم‌شدن کند.

پ) در طول فعالیت، جدول زیر را با دقت پر نمایید.

ت) فعالیت را ادامه دهید تا شیر اطمینان عمل کرده و بخارات اضافی را خارج کند.

ث) بگذارید آزمایش ۳ـ۲ دقیقه دیگر هم ادامه یابد.

ج) نمودار تغییرات دما برحسب زمان را رسم نمایید.

چ) نمودار تغییرات فشار برحسب زمان را رسم کنید.

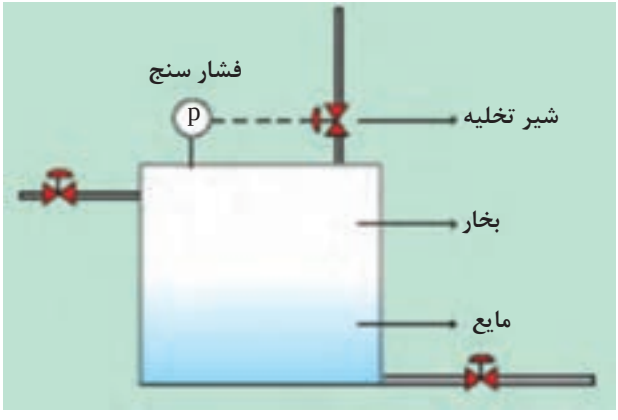
ح) نمودار تغییرات فشار بر حسب دما را رسم نمایید.

خ) در چه زمانی شیر اطمینان عمل کرد؟

نکته

در هنگام کار کردن با اتوکلاو و دیگ زودپز، مراقب نشتی‌ها باشید و سامانه را کاملاً آب‌بندی نمایید.

ردیف	فشار (Pa)	دما (°C)	زمان (s)	
۱	۰	۲۰	۰	۰
۲				
۳				
۴				زمان عملکرد شیر اطمینان
۵				



شکل ۳۷ـ سامانهٔ کنترل فشار مخزن

ارزشیابی شایستگی اندازه‌گیری، ثبت و کنترل فشار

شرح کار:
چگونگی استفاده از تجهیزات کارگاهی را بداند و کار داده‌شده 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:
به‌کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری فشار و کنترل آن مطابق دستور کار

شاخص‌ها:
ـ رعایت مسائل ایمنی هنگام کار
ـ انجام کار طبق دستور کار

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:
شرایط مکان: کارگاه
شرایط دستگاه: آماده به‌کار
زمان: یک جلسهٔ آموزشی
ابزار و تجهیزات: تعدادی مکعب مستطیل فلزی، چوبی و پلیمری ـ ترازو ـ مانومتر ـ مانومتر Uشکل ـ فشارسنج بوردون ـ استوانهٔ مدرج ـ یک نوع کمپروسر هوا یا تلمبهٔ دستی ـ اتوکلا و یا دیگ زودپز مجهز به فشارسنج

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	به‌کارگیری مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری فشار	۱	
۲	انجام اندازه‌گیری فشار با روش‌های مختلف	۲	
۳	کنترل فشار	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 مواد مصرفی** **۳ـ توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط‌زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش** **۴ـ شایستگی‌های غیرفنی: الف) اخلاق حرفه‌ای ب) مدیریت منابع پ) محاسبه و کاربست ریاضی** **۵ـ مستندسازی: گزارش‌نویسی**	۲	
میانگین نمرات			*

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