

## اندازه‌گیری فشار

### چکیده فصل

در این فصل هنجریان با مفهوم کلی فشار، فشار مایعات و گازها، مفهوم فشار ستون سیال و همچنین مفهوم فشار نسبی و مطلق و نحوه اندازه‌گیری آنها آشنا می‌شوند.

دانسته‌های قبلی هنجریان در سال‌های قبل با مفهوم فشار و فرم محاسبه آن، در درس فیزیک، آشنا شده‌اند.

اهداف فصل از هنجریان انتظار می‌رود که در پایان فصل، مفاهیم زیر را آموخته باشند:

- مفهوم فشار و نحوه محاسبه آن
- فشار ستون سیال و نحوه محاسبه آن
- تفاوت فشار گازها و مایعات
- واحدهای فشار
- نحوه تبدیل واحدهای فشار به یکدیگر
- مفهوم فشار نسبی و مطلق
- عملکرد فشارسنج مطلق و نسبی
- رابطه فشار نسبی و مطلق
- تفاوت فشار اتمسفری و فشار اتمسفری استاندارد

### برنامه زمان‌بندی تدریس فصل سوم

صفحه	موضوعات	هفته
۱۹-۱۴	مفهوم فشار- فشار گازها و مایعات - مفهوم فشار ستون سیال - واحدهای فشار و تبدیل واحدها به یکدیگر- مفهوم فشار نسبی و مطلق	۷

برنامه زمان بندی هفته هفتم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	آزمون فصل دوم	۲۰	
۴	تدریس	۹۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

زمان: ۲۰ دقیقه

### نمونه‌ای از آزمون فصل (۲)

- ۱- صفر مطلق را تعریف کنید و مقدار آن را در چهار مقیاس دمایی بنویسید. (۱/۵)
- ۲- فاصله دمایی  $20^{\circ}\text{K}$  و  $40^{\circ}\text{K}$  را بر حسب فارنهایت به دست آورید. (۲/۵)
- ۳- در یک فاصله مشخص تعداد درجات کلین ... از فارنهایت است. (۵/۰)
- ۴- محدوده کاربرد دماسنج‌های مایعی را بنویسید. (۵/۰)

(جمعاً ۵ نمره)

### پاسخ سؤالات آزمون فصل (۲)

- ۱- صفر مطلق، پایین‌ترین دمای ممکن است که در آن انرژی جنبشی مولکول‌ها به صفر می‌رسد. رسیدن به این دما امکان‌پذیر نیست. (۵/۰)
- ۲- مقادیر صفر مطلق،  $273^{\circ}\text{C}$  و  $460^{\circ}\text{F}$  و  $273^{\circ}\text{K}$  و  $460^{\circ}\text{R}$  (هر مورد، ۲۵/۰)

$$T_R = 1/8 T_K \quad (۵/۰)$$

$$T_{1R} = 1/8 \times 200 = 36^{\circ}\text{R} \quad (۲۵/۰)$$

$$T_{2R} = 1/8 \times 400 = 72^{\circ}\text{R} \quad (۲۵/۰)$$

$$T_R = T_F + 460 \quad (۵/۰)$$

$$T_{1F} = 36^{\circ} - 460 = -100^{\circ}\text{F} \quad (۲۵/۰)$$

$$T_{2F} = 72^{\circ} - 460 = 260^{\circ}\text{F} \quad (۲۵/۰)$$

$$\Delta T = 260 - (-100) = 360^{\circ}\text{F} \quad (۵/۰)$$

۳- کمتر (۵/۰)

۴- بین نقطه انجماد و نقطه جوش مایع درون دماسنج (۵/۰)

## سخنی با همکار محترم

از آنجا که اکثر مفاهیم موجود در این فصل و فصل سوم کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی» مشترک‌اند و پیشتر در کارگاه تدریس شده‌اند، مطالب را می‌توان با سرعت بیشتری ارائه داد و حتی در صورتی که مدرس هر دو کتاب، یک هنرآموز باشد می‌توان از تکرار جلوگیری کرد و بر قسمت‌های غیرتکراری و ضروری تمرکز نمود. براین اساس زمان تدریس این فصل یک جلسه در نظر گرفته شده است.

## راهنمای تدریس

ابتدا، جهت جلب توجه و ایجاد تمرکز در هنرجویان، اهمیت اندازه‌گیری فشار در واحدهای صنایع شیمیایی را به اختصار بیان کنید، از جمله:

«فشار یکی از مهم‌ترین کمیت‌هاست و اندازه‌گیری آن یکی از رایج‌ترین اندازه‌گیری‌ها در صنعت به شمار می‌آید. متناسب بودن فشار با برخی از کمیت‌ها<sup>۱</sup>، باعث شده است که دستگاه‌های اندازه‌گیری کمیت‌های مزبور، در حقیقت یک فشارسنج باشند. لذا دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردارند.»

تابلو ← اندازه‌گیری فشار

## ۳-۱- تعریف فشار

- در این بخش، عناوین زیر، با توجه به متن کتاب، توضیح داده می‌شوند:
- تعریف فشار به طور کلی
  - معرفی فرمول محاسبه فشار، بنابر تعریف آن
  - تعریف «پاسکال»<sup>۲</sup> که یکی از رایج‌ترین واحدهای فشار در سیستم SI است.

## فعالیت

- پرسش از آموخته‌های فصل اول
- فشار چه نوع کمیتی است؟ (اصلی یا فرعی)
  - واحدهای فشار را در سیستم‌های CGS و FPS بیان کنید.
  - معادله ابعادی فشار را به دست آورید.
  - نوع واحدهای فشار را مشخص کنید.

پاسخ پرسش‌های فعالیت (۱)، را می‌توان در همین زمان یا در جلسه بعد خواست و به صورت زیر است:

۱- برای مثال، متناسب بودن فشار با دما موجب طراحی و ساخت «دماسنج انبساط سیال» شده است که در فصل دوم کتاب کارگاه عملیات دستگاهی مورد بررسی قرار می‌گیرد یا با دی‌سیالات، باعث استفاده فشارسنج در دستگاه‌های اندازه‌گیری جریان سیالات شده است. این دستگاه‌ها در فصل چهارم هر دو کتاب عملیات و کارگاه عملیات، معرفی می‌شوند.

۲- برای دیگر واحدهای فشار نیز تعریفی مشابه با پاسکال، می‌توان ارائه داد.

فشار کمیتی فرعی یا وابسته است، زیرا براساس کمیت‌های اصلی محاسبه می‌شود. به این ترتیب که اگر فرمول فشار باز شود، در معادله ابعادی آن کمیت‌های اصلی طول و جرم و زمان مشاهده می‌شوند، مانند زیر :

$$P = \frac{F}{A} = \frac{ma}{A} = \frac{m.L/t^2}{L^2} = \frac{m}{L.t^2} \quad (۱-۳)$$

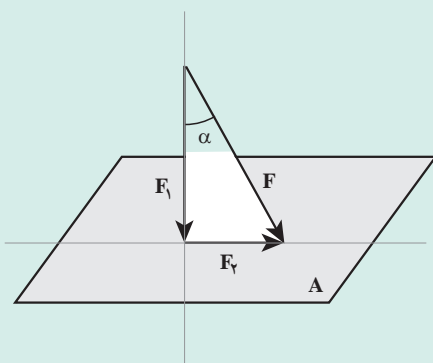
واحدهای فشار در سیستم‌های SI و CGS و FPS به ترتیب عبارت‌اند از : پاسکال (Pa)، دین بر سانتی‌متر مربع ( $\text{dyne/cm}^2$ ) و پوند نیرو بر اینچ مربع (Psi) که همگی از نوع مشتق شده هستند.

### دانستنی (۱)

درباره تعریف فشار : به هنگام ارائه تعریف فشار، بر ضرورت عمودی بودن نیرو جهت ایجاد فشار تأکید شود، زیرا؛

نیروی یک بردار است، پس دارای جهت و مقدار است. در تصویر بردار نیرو بر محورهای مختصات، دو مؤلفه افقی و عمودی آن به دست می‌آید، که فقط مؤلفه عمودی نیرو است که در ایجاد فشار نقش دارد.

مثال : فشار حاصله از نیروی (F) را بر سطح (A) محاسبه کنید.



شکل ۱-۳

حل : به شکل (۱-۳) توجه شود؛ مؤلفه عمودی F به صورت زیر به دست می‌آید :

$$F_v = F \cos(\alpha)$$

و از این جا، فشار را می‌توان محاسبه نمود :

$$P = \frac{F_v}{A} = \frac{F \cos(\alpha)}{A}$$

### ۲-۳- فشار مایعات

در این بخش؛

– مفهوم «فشار ستون سیال»

– روش محاسبه فشار ستون مایع

– عامل فشار در مایعات

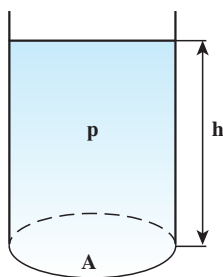
آموزش داده می‌شود.

ابتدا یادآوری می‌شود «هدف از مطرح کردن مبحث «فشار» در صنایع شیمیایی، فشار سیالات و اندازه‌گیری و کنترل آن است».

چون درک «فشار مایعات» برای هنرجویان ساده‌تر و ملموس‌تر است، مبحث فشار را از «فشار مایعات» آن هم با طرح یک مسئله شروع کنید :

ظرفی استوانه‌ای شکل با سطح مقطع A، حاوی مایعی با چگالی  $\rho$  تا ارتفاع h، وجود دارد. فشار مایع را بر کف ظرف محاسبه

کنید.



شکل ۲-۳

حل : با توجه به داده‌ها، از رابطه کلی فشار و اطلاعات قبلی استفاده می‌شود تا رابطه جدیدی برای محاسبه فشار سیالات به‌دست آید :

$$P = \frac{F}{A}$$

نیروی وارد از طرف مایع ساکن بر کف ظرف، به اندازه وزن آن است، پس :

$$F = W \Rightarrow P = \frac{W}{A}$$

$$W = mg \Rightarrow P = mg/A$$

$$m = \rho V \Rightarrow P = \rho Vg/A$$

(V) حجم مایع<sup>۱</sup> است که از رابطه روبه‌رو به‌دست می‌آید :

$$V = hA \Rightarrow P = \frac{\rho gh A}{A} \Rightarrow \boxed{P = \rho gh} \quad (۱-۲-۳)$$

رابطه (۱-۲-۳) جهت محاسبه فشار ستونی از مایع با چگالی ( $\rho$ ) و ارتفاع ( $h$ ) به‌کار می‌رود. باید به‌خاطر داشت که از این رابطه «فشار سیالات» محاسبه می‌شود، که به نام «فشار ستون سیال» معروف است.

از رابطه (۱-۲-۳) می‌توان نتیجه گرفت :

«در دمای ثابت<sup>۲</sup>، فشار سیالات فقط تابع ارتفاع آنهاست».

با توجه به مطالب ذکر شده، می‌توان تعریفی برای «فشار ستون سیال» ارائه داد : «فشار در هر نقطه از یک مایع ساکن، از وزن ذرات مایعی ناشی می‌شود که در ارتفاع بالاتر از آن قرار دارند. به این فشار «فشار ستون سیال» می‌گویند».

— واضح است که معادله ابعادی فشار با رابطه (۱-۲-۳) نیز مطابق رابطه (۱-۱-۳)،  $\text{kg/m.s}^2$  است<sup>۳</sup>.

## دانستنی (۲)

براساس رابطه (۱-۲-۳) می‌توان گفت :

ارتفاع و چگالی سیال هر کدام جداگانه با فشار رابطه مستقیم دارند ولی با هم رابطه عکس پیدا می‌کنند. به‌همین دلیل است که در فشار سنج‌هایی چون مانومتر<sup>۴</sup> و بارومتر<sup>۵</sup>، ترجیح می‌دهند از مایعی چون جیوه استفاده کنند، زیرا به‌علت چگالی بالا، در مقایسه با مایعی چون آب در فشارهای یکسان ارتفاع کمتری را نشان می‌دهد. این مسئله به‌صورت زیر قابل اثبات است :

ارتفاع جیوه در یک بارومتر جیوه‌ای، در فشار یک اتمسفر<sup>۶</sup>  $76 \text{ cm}$  است. ارتفاع آب در همین فشار به شکل

۱- فشار مایعات و گازها هر دو از این رابطه به‌دست می‌آیند و اگر در مواردی از فشار ستون گازی صرف‌نظر می‌شود به‌علت چگالی بسیار کم آنهاست.

۲- شرط دمای ثابت از این جهت مطرح شده که چگالی تابع دماست.

۳- اثبات آن در کتاب درسی صفحه ۱۵ آمده است.

۴- مانومتر : فشار سنجی است که می‌تواند اختلاف فشار دو سیال را برحسب ارتفاع مایع درونش اندازه‌گیری کند.

۵- بارومتر : فشار سنجی است که فقط فشار هوا را اندازه می‌گیرد.

۶- فشار اتمسفر در سطح دریا، معادل  $76^\circ$  میلی‌متر جیوه است.

زیر محاسبه می‌شود :

$$P_{Hg} = P_{H_2O} \Rightarrow \rho_{Hg} h_{Hg} = \rho_{H_2O} h_{H_2O} \Rightarrow h_{H_2O} = \frac{\rho_{Hg} h_{Hg}}{\rho_{H_2O}}$$

با علم به اینکه :

$$\rho_{Hg} = 13.6 \text{ gr/cm}^3, \quad \rho_{H_2O} = 1 \text{ gr/cm}^3 \Rightarrow h_{H_2O} = \frac{13.6 \text{ gr/cm}^3 \times 0.76 \text{ m}}{1 \text{ gr/cm}^3} = 10.336 \text{ m}$$

مشاهده می‌شود که چون چگالی جیوه  $13.6$  برابر چگالی آب است، ارتفاع آب نیز  $13.6$  برابر ارتفاع جیوه است. بنابراین، ساخت چنین بارومتری از نظر ایمنی بسیار مشکل ساز است. گفتنی است محاسبه ارتفاع آب را می‌توان با یک تبدیل واحد نیز انجام داد، به این صورت :

$760 \text{ mm Hg}$	$33.9 \text{ ft H}_2\text{O}$	$0.3048 \text{ m}$	$= 10.333 \text{ m H}_2\text{O}$
$760 \text{ mm Hg}$	$1 \text{ ft}$		

ولی هدف، مطرح کردن رابطه چگالی و ارتفاع است.

### ۳-۳- فشار گازها

ماهیت فشار گازها و مایعات و تفاوت آنها با هم براساس فواصل مولکول‌ها، توضیح داده می‌شود. در یک جمله: «فشار در هر نقطه از یک گاز ساکن، ناشی از تعداد ضرباتی است که مولکول‌های گاز در آن نقطه به واحد سطح اعمال می‌کنند.»  
 یادآور می‌شود هر عاملی مانند افزایش دما، کاهش حجم یا افزایش تعداد مولکول‌های گاز، موجب افزایش فشار گاز خواهد شد، زیرا میزان حرکت و تعداد ضربات مولکول‌ها را افزایش می‌دهد.

### ۳-۴- واحدهای فشار

انواع واحدهای فشار را می‌توان به صورت زیر معرفی نمود:  
 انواع واحدهای فشار، که در این بخش در قالب یک جدول<sup>۱</sup> بیان شده‌اند، به سه شکل هستند:  
 ۱- براساس تعریف کلی فشار، مانند: نیوتن بر متر مربع (پاسکال)، دین بر سانتی متر مربع و پوند نیرو بر اینچ مربع (Psi)  
 ۲- براساس ارتفاع یک مایع<sup>۲</sup>، مانند: میلی متر جیوه، فوت آب و ...  
 ۳- در واحدهایی که براساس شرایط خاصی انتخاب می‌شوند مانند اتمسفر و بار.  
 تبدیل واحدهای فشار را می‌توان به روش نردبانی انجام داد<sup>۳</sup>.

۱- جدول (۱-۳) در صفحه ۱۶ کتاب درسی عملیات دستگاهی

۲- از آنجا که ارتفاع مایع نقش بسیار مهمی در محاسبه فشار دارد، فشار مایعات را برحسب ارتفاع آنها می‌توان بیان کرد، به شرط آن که نام مایع ذکر شود (مثلاً میلی متر جیوه)، زیرا چگالی مایع نیز در ایجاد ارتفاع مؤثر است.

۳- مانند مثال (۱-۳) صفحه ۱۶ کتاب، در اینجا برای تمرین بیشتر تبدیل  $200 \text{ Psi}$  به واحدهای دیگر انجام شده است.

مثال ۳-۱- فشار ۲۰۰ Psi را به بار و فوت آب و دین بر سانتی متر مربع تبدیل کنید.  
حل :

<del>۲۰۰ Psi</del>	$\frac{1/0.1325 \text{ bar}}{14/696 \text{ Psi}} = 13/79 \text{ bar}$	(الف)
--------------------	---	-------

<del>۲۰۰ Psi</del>	$\frac{33/9 \text{ ft H}_2\text{O}}{14/696 \text{ Psi}} = 461/35 \text{ ft H}_2\text{O}$	(ب)
--------------------	--	-----

<del>۲۰۰ Psi</del>	$\frac{1/0.1325 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2}{14/696 \text{ Psi}} = 13/79 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2$	(ج)
--------------------	---	-----

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

در این بخش، موارد زیر تدریس می شود :

- مفهوم فشار نسبی و مطلق
- فشارسنج نسبی و مطلق و تفاوت این دو
- رابطه فشار نسبی و مطلق

درک مفاهیم فشار نسبی و مطلق و چگونگی اندازه گیری آنها بسیار مهم است، ولی به نظر می رسد توضیح کتاب در این زمینه کافی و کامل نیست. لذا توصیه می شود در این خصوص مطالب بیشتری بیان گردد. فشار نیز مانند دما، به دو صورت اندازه گیری می شود :

#### ۱- نسبی      ۲- مطلق

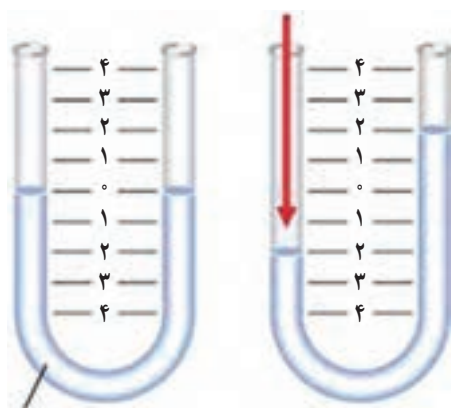
بر حسب تعریف، اختلاف فشار دو سیال را فشار نسبی می نامند. یکی از این دو سیال، سیالی است که هدف اندازه گیری فشار آن است و سیال دیگر که به صورت معیار سنجش انتخاب می شود، معمولاً هواست که فشار آن معلوم است<sup>۳</sup>. فشارسنج ها، به طور معمول فشار نسبی را اندازه می گیرند و در این صورت به آنها، «فشارسنج نسبی» می گویند. در صورتی که معیار سنجش فشار سیال در یک فشارسنج، فشار صفر یا خلأ کامل باشد فشارسنج مستقلاً فشار سیال مورد نظر را اندازه گیری می کند، که به آن «فشار مطلق» می گویند و فشارسنج مربوطه را «فشارسنج مطلق» می نامند. جهت ارائه توضیح کامل تر، مانومتر<sup>۴</sup> به منزله رایج ترین فشارسنج انتخاب می گردد و با ذکر یک مثال نحوه اندازه گیری فشار نسبی و مطلق سیال بیان می شود.

۱- Relative Pressure (P<sub>R</sub>)

۲- Absolute Pressure (P<sub>A</sub>)

۳- فشار هوا توسط بارومتر اندازه گیری می شود.

۴- مانومتر به هر دو صورت می تواند فشار سیال را اندازه گیری کند.



مایع

شکل ۳-۳

مثال : فشار گاز نیتروژن موجود در یک مخزن را توسط یک مانومتر اندازه‌گیری کنید.

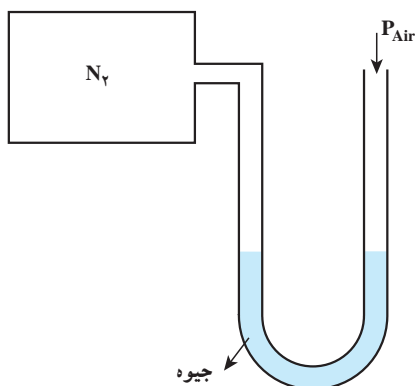
فرض بر این است که هنجریان با عملکرد مانومتر آشنا هستند. همان طوری که در شکل ۳-۳ مشاهده می‌شود اگر فشار در دو شاخه مانومتر یکسان باشد، مایع در مانومتر فاقد حرکت است و در دو شاخه، سطوح یکسان دارد. در غیر این صورت مایع به سمت فشار کمتر حرکت می‌کند و یک اختلاف سطح، ناشی از اختلاف فشار دو سر مانومتر است، برای آن ایجاد می‌شود.

برای اندازه‌گیری فشار گاز نیتروژن، یکی از شاخه‌های مانومتر به مخزن متصل و شاخه دیگر به هوا باز است.<sup>۲</sup> سه حالت ممکن است مشاهده شود :

حالت اول : مایع درون مانومتر (معمولاً جیوه است) حرکت نمی‌کند،

پس نتیجه (مانند شکل ۴-۳) این است :

$$P_{N_2} = P_{Air}$$



جیوه

شکل ۴-۳

حالت دوم : مطابق شکل ۵-۳ جیوه به سمت راست حرکت می‌کند. در

این صورت :

$$P_{N_2} > P_{Air}$$

در این حالت می‌گویند نیتروژن دارای «فشار مثبت» است و مقدار آن

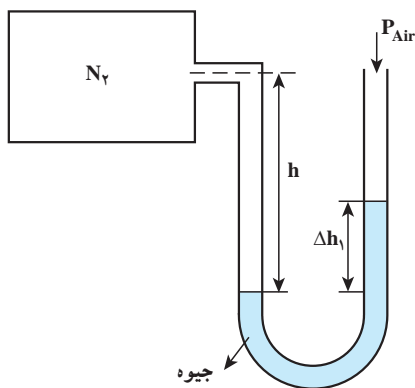
به صورت زیر محاسبه<sup>۲</sup> می‌گردد :

$$P_{N_2} + \gamma_{N_2} h - \gamma_{Hg} \Delta h_1 = P_{Air} \Rightarrow P_{N_2} - P_{Air} = \gamma_{Hg} \Delta h_1 - \gamma_1 h$$

چون مقدار چگالی گازها بسیار کم است از جمله  $\gamma_{N_2} h$  می‌توان صرف‌نظر

کرد. پس رابطه به شکل زیر در می‌آید :

$$P_{N_2} - P_{Air} = \gamma_{Hg} \Delta h_1 \quad (۱-۵-۳)$$



جیوه

شکل ۵-۳

۱- هنجریان با فشار سنج‌های مختلفی، از جمله بارومتر و مانومتر در درس «کارگاه عملیات دستگاهی» آشنا شده‌اند.

۲- پس شکل ۴-۳ نمایش فشارسنج نسبی است که اصطلاحاً به آن «مانومتر سرباز» نیز می‌گویند.

۳- این نحوه محاسبه در کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی»، بخش مانومتر دیفرانسیلی، آموزش داده می‌شود.

۴-  $\gamma$  نماد وزن مخصوص است و مقدار آن برابر با  $(\rho g)$  است بر این اساس :  $P = \rho gh = \gamma h$  است.



آنچه مانومتر نشان می‌دهد  $\Delta h_1$  است که طبق رابطه (۵-۵-۱) اختلاف فشار دو سر آن است. پس براساس تعریف،  $\gamma_{Hg} \Delta h_1$  مقدار فشار نسبی است که با توجه به بیشتر بودن فشار نیتروژن، می‌توان گفت در این حالت؛ فشار نسبی بیشتر از صفر است. از رابطه (۳-۵-۱) فشار نیتروژن را می‌توان محاسبه کرد:

$$P_{N_2} = P_{Air} + \gamma_{Hg} \Delta h_1 \quad (۳-۵-۲)$$

از آنجا که  $(P_{N_2})$  نماد فشار مطلق نیتروژن است، رابطه (۳-۵-۲) را می‌توان به شکل زیر در آورد:

فشار نسبی + فشار هوا = فشار مطلق

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

(۳-۵-۳)

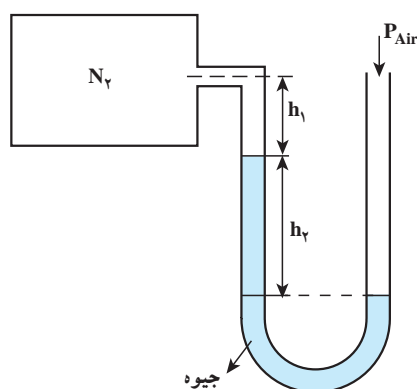
حالت سوم: مطابق شکل ۳-۶ جیوه به سمت مخزن نیتروژن کشیده می‌شود،

زیرا

$$P_{N_2} < P_{Air}$$

در این حالت می‌گویند نیتروژن دارای «فشار منفی<sup>۲</sup>» است، و مقدار آن با روش محاسبه مشابه حالت قبل، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$P_{N_2} = P_{Air} - \gamma_{Hg} h_2 \Rightarrow P_A = P_{Air} + P_R \quad (۴-۵-۳)$$



شکل ۳-۶

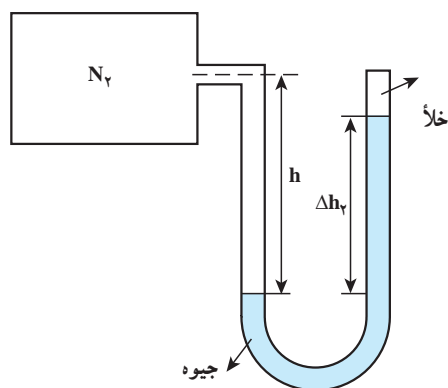
خلاصه:

در اندازه‌گیری فشار نسبی یک سیال، نقطه صفر در حقیقت فشار هوای محیط اندازه‌گیری است.

با حذف فشار هوا و ایجاد خلأ در آن شاخه، فشارسنج نسبی به فشارسنج مطلق تبدیل می‌شود. در این صورت می‌توان فشار مطلق سیال را اندازه‌گیری کرد. همان‌طور که در شکل ۳-۷ مشاهده می‌شود:

در فشارسنج مطلق (مانومتر سر بسته) فقط همین حالت رخ می‌دهد، زیرا همیشه فشار سیال از فشار صفر (خلأ کامل<sup>۳</sup>) بیشتر است. در اثر محاسبه به روش مشابه، فشار گاز نیتروژن از رابطه (۳-۵-۵) به دست می‌آید:

$$P_{N_2} = \gamma_{Hg} \Delta h_2 \quad (۵-۵-۳)$$



شکل ۳-۷

- Absolute pressure ( $P_A$ )

در رابطه (۳-۵-۳):

- Relative Pressure ( $P_R$ )

۲- به عبارت دیگر نیتروژن «فشار زیر جو یا خلأ» دارد.

۳- واضح است که ایجاد خلأ کامل روی جیوه امکان ندارد، زیرا در آن فضا بخارات جیوه وجود دارند، ولی به علت فشار بخار کم جیوه، مقدار آنها بسیار کم و قابل اغماض

است و یکی از دلایل عمده برای انتخاب جیوه به منزله بهترین مایع مانومتری، همین است.

مشخص است که آنچه از مانومتر خوانده می‌شود، فشار مطلق سیال است و نیازی به محاسبه نیست. از مقایسه دو شکل ۳-۵ و ۳-۷ نتیجه مهمی حاصل می‌شود که :

$$\Delta h_p > \Delta h_v$$

دلیلش این است که وجود فشار هوا در فشارسنج نسبی مانع از بالا رفتن جیوه، (به اندازه‌ای که در فشارسنج مطلق مشهود است) می‌شود<sup>۱</sup>.

خلاصه :

در اندازه‌گیری فشار مطلق یک سیال، نقطه صفر منطبق بر خلأ کامل است. به خاطر داشته باشید در کتاب درسی، برای فشارسنج نسبی فقط حالت دوم نشان داده شده و رابطه (۳-۵) مطرح گردیده است و براساس آن، مثال‌های (۳-۲) و (۳-۳) نیز حل می‌شوند.

## فعالیت

از هنرجویان خواسته شود که خودآزمایی را برای جلسه آینده حل نمایند و خود را برای برگزاری امتحان کلاسی (کوئیز) آماده کنند.

## دانستنی (۳)

### انواع فشارسنج‌ها

اکثر فشارسنج‌هایی که در دانستنی (۳) مورد بررسی قرار می‌گیرند، در کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی» معرفی شده‌اند، در این جا برای همکارانی که فقط تدریس کتاب «عملیات دستگاهی» را برعهده دارند، توضیحاتی مختصراً ارائه می‌شود :

به طور کلی فشارسنج‌ها براساس عملکردشان به دو دسته اساسی تقسیم می‌شوند :

۱- فشارسنج‌هایی که فشار را برحسب ارتفاع مایع درونشان، اندازه‌گیری می‌کنند، مانند بارومتر و انواع مانومترها (مانومتر U شکل، مانومتر دیفرانسیلی و پیزومتر).

۲- فشارسنج‌هایی که فشار را براساس تغییر شکل یک ماده الاستیک، اندازه‌گیری می‌کنند، مانند فشارسنج بوردن.

### بارومتر<sup>۲</sup> :

فشار اتمسفر محلی را با بارومتر خشک یا بارومتر جیوه‌ای اندازه‌گیری می‌کنند. بارومتر خشک، اختلاف فشار اتمسفر و یک لوله خالی را اندازه می‌گیرد. طرز کار بارومتر خشک شبیه فشارسنج بوردن است، با این تفاوت که در این حالت درون لوله، خلأ کامل ایجاد شود.

بارومتر جیوه‌ای، عبارت از لوله‌ای است که یک طرف آن بسته است (مانند شکل ۳-۹). ابتدا لوله را از جیوه<sup>۳</sup> پر می‌نمایند، سپس آن را وارونه درون یک ظرف جیوه غوطه‌ور می‌کنند (مانند شکل ۳-۸) و به این ترتیب، در قسمت

۱- این مسئله در کارگاه عملیات دستگاهی، در آزمایش «محاسبه فشار ستون سیال توسط مانومتر جیوه‌ای» مشاهده می‌شود.

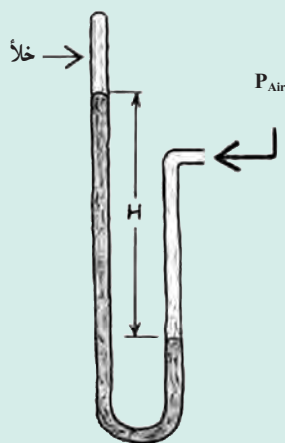
۲- Barometer

۳- به هنرجویان نکات ایمنی مربوط به کار با جیوه تذکر داده شود.

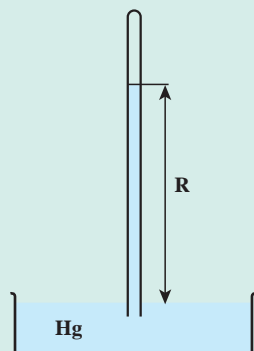
بالای لوله خلأ ایجاد می‌شود و جیوه در لوله پایین می‌آید، به حدی که ارتفاع جیوه در لوله نشان دهنده فشار هوا در آن محیط (R) است.

در سطح دریاهای آزاد در دمای صفر درجه سلسیوس، مقدار R برابر با ۷۶ سانتی‌متر است. فشار بارومتري، با تغییر محل و شرایط آب و هوایی تغییر می‌کند. برای مثال، اگر یک بارومتر را در قله کوهی قرار دهند مقدار R از زمانی که در دامنه کوه باشد، کمتر است.

اگر بارومتر در دسترس نباشد، با یک مانومتر سر بسته نیز می‌توان فشار اتمسفری را اندازه‌گیری کرد (مانند شکل ۳-۱۰).



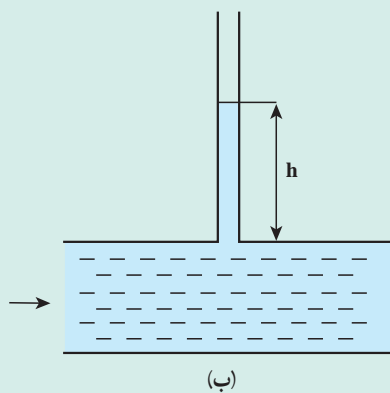
شکل ۳-۱۰



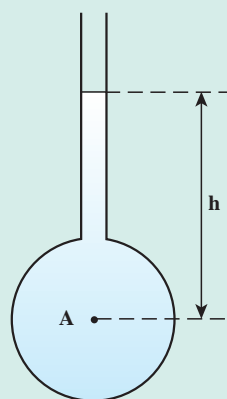
شکل ۳-۹- بارومتر جیوه‌ای



شکل ۳-۸- تهیه بارومتر جیوه‌ای



(ب)



(الف)

شکل ۳-۱۱- چگونگی نصب پیزومتر

پیزومتر<sup>۱</sup>: ساده‌ترین مانومتر، پیزومتر است. این لوله شیشه‌ای به طور قائم به فضای داخل یک مخزن یا در مسیر جریان یک مایع<sup>۲</sup> نصب می‌شود همان طوری که به ترتیب در شکل‌های ۳-۱۱-الف و ۳-۱۱-ب مشاهده می‌شود. مایع متناسب با فشارش، در لوله پیزومتر صعود می‌کند تا اینکه تعادل برقرار شود. آن‌گاه برای تعیین فشار در هر نقطه کافی است فاصله

قائم آن نقطه تا سطح مایع درون لوله، قرائت شود. این فاصله معرف فشار بر حسب طول ستون مایع داخل مخزن یا کانال است. برای مثال، اگر مایع، آب و  $h = ۱۲\text{ cm}$  باشد در این صورت فشار  $H_2O$  ۱۲ cm اعلام می‌شود.

<sup>۱</sup> Piezometer

<sup>۲</sup> پیزومتر فقط برای اندازه‌گیری فشار نسبی مایعات کاربرد دارد، به دلیل اینکه سر آن به هوا باز است.

روشن است که پیزومتر برای اندازه‌گیری فشارهای منفی کاربرد ندارد، زیرا در آن صورت هوا از طریق لوله به مخزن جریان خواهد یافت، هم‌چنین اندازه‌گیری فشارهای زیاد نیز با پیزومتر عملی نیست، زیرا مستلزم استفاده از یک لوله قائم بسیار بلند خواهد بود.

جهت کسب اطلاعات بیشتر در مورد انواع پیزومترها به منابع علمی موجود مراجعه نمایید.

**فشارسنج بوردن<sup>۱</sup>**: یکی از رایج‌ترین فشارسنج‌ها برای اندازه‌گیری فشار نسبی سیالات، لوله بوردن است. این فشارسنج دارای یک لوله نازک<sup>۲</sup> فلزی خمیده به شکل C با سطح مقطع بیضی است. انتهای لوله بسته است و با مکانیزم خاصی به یک عقربه متصل شده است. ابتدای آن به سیال مورد نظر متصل می‌شود. سیال ورودی به لوله متناسب با فشارش، خمیدگی لوله را باز می‌کند (زیرا مقطع لوله در اثر فشار از حالت بیضی به دایره میل می‌کند) و عقربه را حرکت می‌دهد تا مقدار فشار را نمایش دهد. در شکل‌های ۱۲-۳ و ۱۳-۳ به ترتیب ساختمان داخلی و نمای خارجی فشارسنج بوردن مشاهده می‌شوند:



شکل ۱۳-۳ - فشارسنج بوردن



شکل ۱۲-۳ - فشارسنج بوردن

شکل ۱۴-۳ یک فشارسنج بوردن دیجیتالی را نشان می‌دهد:

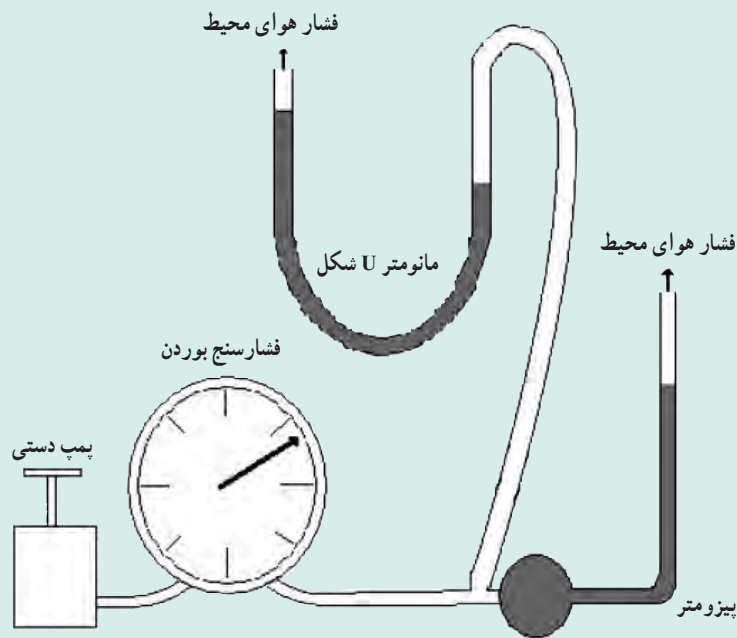


شکل ۱۴-۳ - فشارسنج بوردن دیجیتالی

۱- Bourdon tube gauge

۲- در فشارسنج بوردن، از یک فلز نرم، به عنوان ماده الاستیک (قابل ارتجاع)، استفاده می‌شود. گفتنی است که ماده الاستیک، ماده‌ای است که در اثر فشار تغییر شکل می‌دهد و پس از حذف فشار، به شکل اولیه‌اش برمی‌گردد.

در یک طرح کارگاهی، فشار تولیدی توسط یک پمپ دستی را می‌توان با سه فشارسنج مذکور اندازه‌گیری نمود (شکل ۳-۱۵).



شکل ۳-۱۵

### مسائل پیشنهادی

۱- با استفاده از رابطه فشار ستون سیال ( $P = \rho gh$ )، واحد فشار را در سیستم CGS به دست آورید و ثابت کنید معادل  $\text{dyne/cm}^2$  است.

حل: در رابطه مذکور، واحدهای کمیت‌های چگالی و شتاب جاذبه و ارتفاع در سیستم CGS، جایگزین می‌شوند:

$$\text{واحد فشار} = \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} \times \text{cm} = \text{g/cm.s}^2$$

برای اثبات، به دو روش می‌توان عمل کرد:

$$\frac{\text{g}}{\text{cm.s}^2} \times \frac{\text{cm}}{\text{cm}} = \frac{\text{g.cm}}{\text{s}^2.\text{cm}^2} = \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} \quad (\text{الف})$$

$$\frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{g.cm}}{\text{s}^2.\text{cm}^2} = \frac{\text{g}}{\text{cm.s}^2} \quad (\text{ب})$$

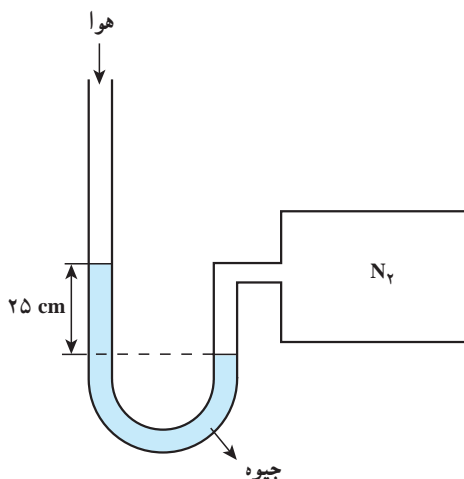
۲- فشار ستونی از آب را در سیستم CGS به ارتفاع  $10 \text{ cm}$  به دست آورید.

حل: در سیستم مذکور:

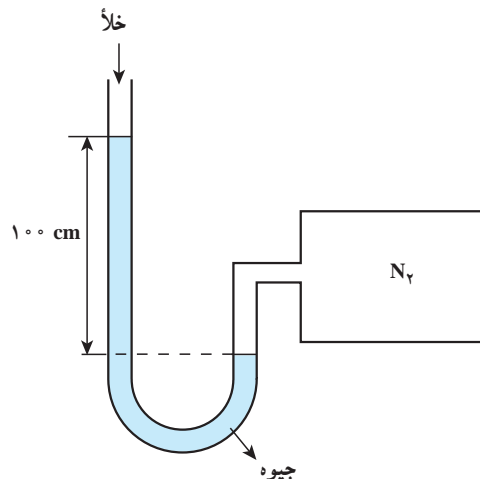
$$g = 980 \text{ cm/s}^2, \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$P = \rho gh = 1 \times 980 \times 10 = 9800 \text{ dyne/cm}^2$$

۳- با توجه به شکل ۳-۱۶، فشار هوا را به دست آورید :



شکل ۳-۱۶- ب



شکل ۳-۱۶- الف

حل : شکل (الف) یک فشارسنج مطلق است که توسط آن فشار مطلق گاز نیتروژن ( $P_A$ ) به دست می آید و شکل (ب) یک فشارسنج نسبی است که فشار نسبی گاز نیتروژن ( $P_R$ ) را نشان می دهد. با استفاده از رابطه (۳-۵-۳)، فشار هوا محاسبه می گردد :

$$P_A = P_{Air} + P_R \quad \Rightarrow \quad P_{Air} = P_A - P_R$$

$$P_{Air} = 100 - 25 = 75 \text{ cm Hg}$$

۴- تفاوت فشار اتمسفری و فشار اتمسفری استاندارد را بیان کنید.

پاسخ : فشار اتمسفری در هر مکانی، همان فشار هواست که بر حسب ارتفاع از سطح دریا تغییر می کند (با هم نسبت عکس دارند) و فشار اتمسفری استاندارد، فشار هوا در سطح دریاهای آزاد در دمای صفر درجه سلسیوس است که برابر با یک اتمسفر و دارای مقداری ثابت است.

۵- جاهای خالی را پر کنید :

(الف) مقیاس اندازه گیری فشار نسبت به ..... را فشار مطلق می گویند.

(ب) مقیاس اندازه گیری فشار نسبت به فشار محیط را ..... می گویند.

(ج) فشار اتمسفری با ..... تغییر می کند.

(د) واحد فشار در سیستم SI، ..... و در CGS، ..... و در FPS، ..... است.

(ه) در مایعات، فشار ناشی از ..... است.

(و) فشار گازها ناشی از ..... است.

(ز) واحد فشار مطلق و فشار نسبی در سیستم FPS به ترتیب ..... و ..... است.

(ح) اختلاف فشار مطلق و فشار محیط را ..... می گویند.

(ط) ابتدایی ترین مفهوم فشار مایعات مربوط به ..... است.

### پاسخ‌ها:

الف) خلاً کامل یا فشار صفر

ج) ارتفاع

هـ) وزن ذرات مایع

ز) Psia و Psig

ط) ستون سیال مایع

ب) فشار نسبی

د) Pa و  $\text{dyne/cm}^2$  و Psi

و) ضربات مولکول‌های گاز

ح) فشار نسبی

## اندازه‌گیری جریان سیالات

### چکیده فصل

در این فصل هنجریان با مفهوم دبی و انواع آن و چگونگی اندازه‌گیری جریان سیالات توسط دستگاه‌های مربوطه آشنا می‌شوند.

دانسته‌های قبلی: هنجریان در هیچ یک از دوران تحصیلی خود، مطالبی در این زمینه نیاموخته‌اند.

اهداف فصل: پس از پایان این فصل، از هنجریان انتظار می‌رود که مفاهیم زیر را آموخته باشند:

- مفهوم «اندازه‌گیری جریان سیالات»
- دبی و انواع آن (دبی جرمی و حجمی)
- واحدهای دبی در سیستم‌های مختلف
- رابطه ریاضی جهت محاسبه دبی جرمی و حجمی
- عوامل تعیین کننده در انتخاب روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات
- روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات
- شرح دستگاه‌های اندازه‌گیری جریان سیالات

### برنامه زمان بندی تدریس فصل چهارم

صفحه	موضوعات	هفته
۲۰-۲۱ و ۲۴	مفاهیم دبی، دبی جرمی، دبی حجمی و واحدهای مربوطه، روابط فیزیکی جهت محاسبه دبی‌ها و روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات	۸
۲۱-۲۴	شرح انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری جریان سیالات	۹



برنامه زمان بندی هفته هشتم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	حل خودآزمایی	۳۰	
۴	برگزاری آزمون فصل سوم	۱۰	
۵	تدریس	۷۰	
۶	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

### حل مسائل خودآزمایی

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

حل: رابطه های مذکور نوشته می شود:

$$\text{واحد فشار} = \frac{N}{m^2} = Pa \quad (1-1-3)$$

$$\text{واحد فشار} = \frac{kg}{m.s^2} = Pa \quad (1-2-3)$$

چون طرف راست دو رابطه بالا یکسان است پس طرف چپ آنها نیز برابر است. بنابراین:

$$\frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m.s^2}$$

از این تساوی N (معادل نیوتن) به دست می آید:

$$N = \frac{kg.m^2}{m.s^2} \Rightarrow N = kg.\frac{m}{s^2}$$

۲- فشار  $1000 \text{ in Hg}$  را به واحدهای زیر تبدیل کنید.

حل: با استفاده از جدول تبدیل واحدهای فشار در صفحه ۱۶ کتاب و روش نردبانی از مورد (الف) تا (و) حل

می شود، به صورت زیر:

Psia (الف)

$$1000 \text{ in Hg} = \frac{1000 \text{ in Hg}}{29.921 \text{ in Hg}} \times \frac{14.696 \text{ Psia}}{1} = 491.16 \text{ Psia}$$

ب) KPa

$$1000 \text{ in Hg} = \frac{1000 \cancel{\text{ in Hg}}}{29/921 \cancel{\text{ in Hg}}} \times \frac{101325 \cancel{\text{ Pa}}}{10^3 \cancel{\text{ Pa}}} = 3386/4 \text{ KPa}$$

ج) atm

$$1000 \text{ in Hg} = \frac{1000 \cancel{\text{ in Hg}}}{29/921 \cancel{\text{ in Hg}}} = 33/42 \text{ atm}$$

د) ft H<sub>2</sub>O

$$1000 \text{ in Hg} = \frac{1000 \cancel{\text{ in Hg}}}{29/921 \cancel{\text{ in Hg}}} = 1132/98 \cancel{\text{ ft H}_2\text{O}}$$

ه) cm Hg

می‌توان از جدول طول در صفحه (۶) کتاب درسی استفاده کرد؛

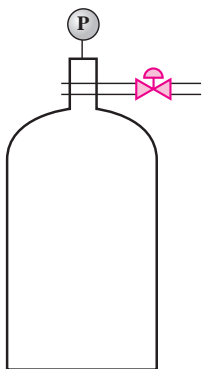
$$1000 \text{ in Hg} = \frac{1000 \cancel{\text{ in Hg}}}{39/37 \cancel{\text{ in}}} \times \frac{10 \cancel{\text{ cm}}}{1 \cancel{\text{ m}}} = 2540/0 \text{ cm Hg}$$

یا می‌توان از جدول فشار در صفحه (۱۶) کتاب درسی استفاده کرد؛

$$1000 \text{ in Hg} = \frac{1000 \cancel{\text{ in Hg}}}{29/921 \cancel{\text{ in Hg}}} \times \frac{760 \cancel{\text{ mm Hg}}}{10 \cancel{\text{ mm}}} = 2540/0 \text{ cm Hg}$$

و) bar

$$1000 \text{ in Hg} = \frac{1000 \cancel{\text{ in Hg}}}{29/921 \cancel{\text{ in Hg}}} \times \frac{101325 \cancel{\text{ bar}}}{10^5 \cancel{\text{ bar}}} = 33/86 \text{ bar}$$



۳- فشار مخزن مقابل توسط فشارسنج اندازه‌گیری و مقدار آن ۲۰۰ KPa گزارش شده است. فشار مطلق را برای گاز مذکور در واحد Psia به‌دست آورید.

حل: فشاری که توسط فشارسنج اندازه‌گیری شده، فشارنسبی است، پس:

$$P_R = 200 \text{ kPa}$$

چون مقدار فشار هوا در صورت مسئله قید نشده است، آن را یک اتمسفر فرض می‌کنیم و معادل آن، از جدول (۱-۳) صفحه (۱۶) کتاب درسی، برحسب واحد مورد نیاز استفاده می‌شود، یعنی :

$$P_{\text{air}} = 14/696 \text{ Psia}$$

$$P_A = P_{\text{air}} + P_R$$

جهت استفاده از این رابطه، ابتدا فشار نسبی برحسب Psig به دست می‌آید :

$$P_R = \frac{200 \text{ KPa} \quad | \quad 10^3 \text{ Pa} \quad | \quad 14/696 \text{ Psig}}{1 \text{ KPa} \quad | \quad 101325 \text{ Pa}} = 29/01 \text{ Psig}$$

$$P_A = 14/696 \text{ Psig} + 29/01 \text{ Psig} = 43/706 \text{ Psig}$$

۴- فشار مطلق یک برج ۳۲ in Hg است. اگر فشارسنج، فشار ۳/۷ in Hg را نمایش دهد فشار اتمسفری محیط را برحسب KPa، atm، mmHg به دست آورید.

حل :

$$P_A = P_{\text{Air}} + P_R \Rightarrow P_{\text{Air}} = P_A - P_R$$

$$P_{\text{Air}} = 32 \text{ in Hg} - 3/7 \text{ in Hg} = 28/3 \text{ in Hg}$$

با استفاده از جدول (۱-۳) کتاب درسی؛

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 29/921 \text{ inHg} = 101325 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{Air}} = \frac{28/3 \text{ in Hg} \quad | \quad 760 \text{ mmHg}}{29/921 \text{ in Hg}} = 718/83 \text{ mmHg}$$

$$P_{\text{Air}} = \frac{28/3 \text{ in Hg} \quad | \quad 1 \text{ atm}}{29/921 \text{ in Hg}} = 0/946 \text{ atm}$$

$$P_{\text{Air}} = \frac{28/3 \text{ in Hg} \quad | \quad 101325 \text{ Pa} \quad | \quad 1 \text{ KPa}}{29/921 \text{ in Hg} \quad | \quad 10^3 \text{ Pa}} = 95/84 \text{ KPa}$$

### یک نمونه آزمون فصل (۳)

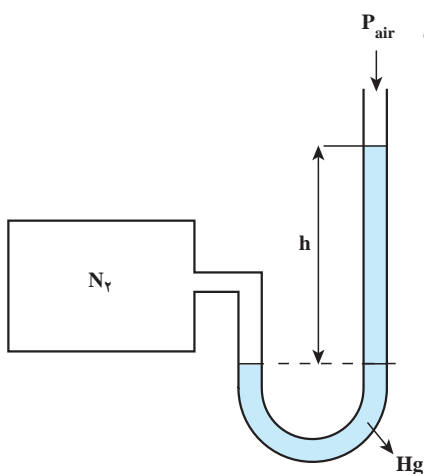
۱- فشار ستونی از یک مایع به چگالی  $0/8 \text{ g/cm}^3$  و ارتفاع  $1 \text{ m}$  و شتاب  $1000 \text{ cm/s}^2$  چند پاسکال است؟ (۲/۲۵)

۲- جاهای خالی را پر کنید :

الف) فشار مایعات به علت ..... ناشی از وزن مولکول‌های مایع است. (۰/۲۵)

ب) ارتفاع جیوه در فشارسنج مطلق ..... از ارتفاع جیوه در فشارسنج نسبی است. (۰/۲۵)

۳- دستگاه زیر چه نام دارد؟ کاربرد آن چیست؟ مقدار  $h$  را بایک رابطه به دست آورید. (۵/۰)



۴- اگر فشار گازی  $30/7 \text{ Psia}$  باشد در صورتی که فشار هوا  $14/7 \text{ Psia}$  باشد فشار نسبی را به دست آورید. (۱)  
 ۵- طبق قرار داد، فشار جو در سطح دریا چقدر است؟ هر چه از سطح دریا بالاتر برویم، فشار جو چه تغییری می کند؟ (۵/۰)

(جمعاً ۵ نمره)

### پاسخ سؤالات آزمون

۱- پاسکال واحد فشار در سیستم SI است. پس همه کمیت ها باید به این سیستم انتقال داده شوند :

$$\rho = \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ cm}^3} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \left( \frac{0}{25} \right)$$

$$g = \frac{1000 \text{ cm}}{1 \text{ s}^2} = 1000 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \left( \frac{0}{25} \right)$$

$$P = \rho g h = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1 \text{ m} = 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}^2} (= \text{Pa}) \quad \left( \frac{0}{25} \right)$$

۲- الف) فاصله کم بین مولکول ها (۲۵/۰) ب) بیشتر (۲۵/۰)

۳- فشار نسبی (۲۵/۰) اندازه گیری فشار نسبی گاز نیتروژن (۲۵/۰)

$$\rho_{\text{Hg}} g h = P_{\text{N}_2} - P_{\text{air}} \quad \left( \frac{0}{25} \right)$$

۴-

$$P_A = P_{\text{Air}} + P_R \Rightarrow P_R = P_A - P_{\text{Air}} \quad \left( \frac{0}{25} \right)$$

$$P_R = 30/7 \text{ Psia} - 14/7 \text{ Psia} \quad \left( \frac{0}{25} \right) = 16 - \text{Psia} \quad \left( \frac{0}{25} \right)$$

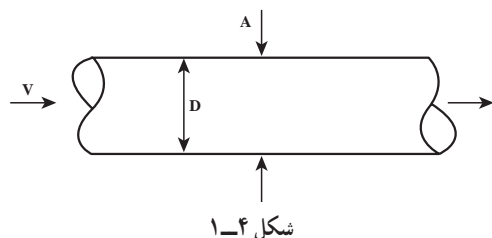
۵- اتمسفر (۲۵/۰)

۶- یک اتمسفر (۲۵/۰) کمتر می شود (۲۵/۰)

#### ۱-۴- تعریف دبی<sup>۱</sup>

##### راهنمای تدریس

توصیه می‌شود ابتدا هدف از «اندازه‌گیری جریان سیالات» و اهمیت و ضرورت آن مختصراً توضیح داده شود. مثال زیر می‌تواند به روشن شدن مطلب کمک کند:



سیالی با چگالی ( $\rho$ ) از یک لوله به قطر ( $D$ )، با سرعت ( $V$ ) می‌گذرد. محاسبه کنید در واحد زمان، چه مقدار از این سیال از مقطع ( $A$ ) جابه‌جا می‌شود؟

کمیت مذکور، دبی یا شدت جریان سیال نام دارد و می‌توان آن را مطابق متن کتاب تعریف نمود. مقدار سیال را می‌توان برحسب جرم یا حجم آن، اندازه‌گیری کرد. بر این اساس، دبی جرمی<sup>۲</sup> و دبی حجمی<sup>۳</sup> تعریف می‌شود.

#### ۲-۴- دبی حجمی ( $Q$ )

تعریف دبی حجمی با عبارتی دیگر:

«جرم سیال جابه‌جا شده در واحد زمان»، که براساس این تعریف، با رابطه (۱-۲-۴) محاسبه می‌شود:

(۱-۲-۴)

$$Q = \frac{V}{t}$$

#### ۳-۴- دبی جرمی ( $m^\circ$ )

به طریق مشابه، دبی جرمی این گونه تعریف می‌شود:

«جرم سیال جابه‌جا شده در واحد زمان»

(۱-۳-۴)

$$m^\circ = \frac{m}{t}$$

حال می‌توان در خصوص «اهمیت و ضرورت اندازه‌گیری دبی سیالات» در زندگی روزمره و صنعت، اطلاعاتی را به هنرجویان ارائه داد<sup>۴</sup>.

۱- flow rate

۲- Volumetric flow rate

۳- Mass flow rate

۴- نمونه این اطلاعات در بخش مقدمه فصل چهارم کتاب کارگاه عملیات دستگاهی، وجود دارد.

## دانستنی (۱)<sup>۱</sup>

اهمیت و ضرورت اندازه‌گیری جریان سیالات :

- دبی از جمله متغیرهایی است که به دلایل زیر در صنایع به وفور اندازه‌گیری می‌شود :
- دبی مهم‌ترین کمیت قابل تغییر، جهت کنترل کمیت‌های دیگر است.
- یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی کارایی یک فرآیند، ظرفیت است که توسط دبی، محاسبه می‌شود.
- کیفیت انجام بسیاری از واکنش‌های شیمیایی در مقیاس صنعتی، در گرو اندازه‌گیری صحیح دبی سیالاتی است که در آن واکنش دخالت دارند.
- برای مثال در واکنش احتراق سوخت در کوره‌ها یا اتومبیل‌ها، هر تغییری در میزان دبی اکسیژن یا سوخت به سوخت ناقص و تولید گاز منواکسید کربن منجر می‌شود یا بازده عمل کاهش می‌یابد.
- اندازه‌گیری دبی را می‌توان مستقیماً با مسائل اقتصادی و در نتیجه با سود و زیان مراکز مربوطه، مرتبط دانست. در این خصوص می‌توان از فروش بنزین، محاسبه میزان آب یا گاز مصرفی، فروش نفت و گاز طبیعی نام برد که چگونه یک خطای کوچک در اندازه‌گیری دبی بر اقتصاد خانواده و جامعه اثر می‌گذارد.
- اندازه‌گیری دبی در حیطه پزشکی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. برای مثال، می‌توان از اندازه‌گیری میزان سرم ورودی به بدن بیمار یا اکسیژن مصرفی توسط فرد نیازمند نام برد.

## ۴-۴- واحدهای دبی حجمی و جرمی

واحدهای دبی حجمی و جرمی براساس روابط آنها محاسبه می‌شوند<sup>۲</sup>، یعنی :

$$\text{واحد جرم} = \frac{\text{واحد دبی جرم}}{\text{واحد زمان}} \quad \text{واحد حجم} = \frac{\text{واحد دبی حجمی}}{\text{واحد زمان}}$$

## فعالیت

حال از هنرجویان خواسته شود، واحدهای این دو کمیت را در سه سیستم اندازه‌گیری، در جدولی مانند جدول

(۱-۴) بنویسند.

جدول ۱-۴

کمیت	SI	CGS	FPS
دبی حجمی	m <sup>۳</sup> /s	cm <sup>۳</sup> /s	ft <sup>۳</sup> /s
دبی جرمی	kg/s	gr/s	lbm/s

۱- دانستنی (۱) برگرفته از کتاب «وسایل اندازه‌گیری و کنترل در فرآیندهای شیمیایی، متالورژی و معدنی» اثر و.ر.راداکیشنان ترجمه دکتر جمشید بهدین است.

۲- در فصل اول گفته شد؛ واحدهای کمیت‌های فرعی با استفاده از کمیت‌های اصلی و روابط محاسبه می‌شوند.

## دانستنی (۲)

انتخاب و استفاده از واحدهای مختلف دبی حجمی، به نوع سیال بستگی دارد. برای مثال، جهت اندازه‌گیری دبی نفت و آب شور استخراجی از چاه‌های نفت از واحد؛

BPD : Barrel Per Day

بشکه در روز

و جهت اندازه‌گیری دبی گاز طبیعی از واحد؛

MMSCFPD : Million Standard Cubic Feet Per Day

میلیون فوت مکعب استاندارد در روز استفاده می‌شود.

یکی دیگر از واحدهای رایج دبی حجمی برای مایعات، لیتر بر ساعت (L/hr) است.

رابطه دبی حجمی و جرمی با یکدیگر : این رابطه در حل مسائل مربوط به دبی، کاربرد دارد. برای به‌دست آوردن این رابطه، می‌توان مطابق متن کتاب، از چگالی سیال استفاده کرد<sup>۱</sup> تا رابطه (۱-۴-۴) محاسبه گردد :

$$\dot{m} = \rho Q \quad (1-4-4)$$

## دانستنی (۳)

روشی دیگر جهت محاسبه رابطه دبی حجمی و جرمی یک سیال :

از مزایای این روش، این است که در آن روابط مستقل دیگری مبتنی بر سرعت سیال<sup>۲</sup>، جهت محاسبه دبی حجمی و جرمی به‌دست می‌آید.

در این روش اثر عوامل سرعت، سطح مقطع عبوری و چگالی سیال بر دبی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این عوامل با جرم سیال عبوری از لوله در واحد زمان نسبت مستقیم دارد، بنابراین دبی جرمی از رابطه (۲-۴-۴) به‌دست می‌آید :

$$\dot{m} = \rho VA \quad (2-4-4)$$

برای دبی حجمی نیز، می‌توان رابطه‌ای مشابه به‌دست آورد، به طریق زیر :

واحد دبی جرمی براساس رابطه (۲-۴-۴) در سیستم SI، عبارت است از :

$$\dot{m} \text{ واحد} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \text{m}^2 = \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (3-4-4)$$

با توجه به رابطه (۳-۴-۴)، مشاهده می‌شود که با حذف واحد چگالی، واحد حجم بر زمان که همان دبی حجمی است، به‌دست می‌آید  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$  و این واحد از حاصل ضرب واحدهای سرعت و سطح مقطع حاصل شده است، به‌صورت زیر :

$$Q = VA \quad (4-4-4)$$

با جایگزین کردن رابطه (۴-۴-۴) در (۲-۴-۴) رابطه مورد نظر به‌دست می‌آید :

$$\dot{m} = \rho Q$$

۱- یا می‌توان از روشی دیگر، برای به‌دست آوردن این رابطه بهره گرفت که در دانستنی (۳) بیان شده است.

۲- بخش (۶-۴) در همین رابطه است که با استفاده از سرعت سیال، دبی آن اندازه‌گیری شود.

## ۴-۵- روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات

قبل از بیان روش‌های متعددی که برای اندازه‌گیری جریان سیالات کاربرد دارند، بهتر است در مورد عوامل مؤثر بر انتخاب آنها سخنی به میان آید. در متن کتاب به چهار عامل اشاره شده است که در این بخش از عوامل دیگری نیز نام برده می‌شود. به طور کلی عوامل تعیین‌کننده روش عبارت‌اند از:

نوع سیال، دما، فشار بخار یا نقطه جوش، فشار، چگالی، هزینه، دقت اندازه‌گیری، میزان افت فشار دائم تولیدی برای سیال، نوع جریان سیال، ویسکوزیته، میزان خوردگی سیال، ...

در مورد هر یک از این عوامل می‌توان اطلاعات مختصری را در اختیار هنرجویان قرار داد. برای مثال، برحسب اینکه فشار بخار سیال چقدر باشد (میزان فراریت) روش انتخابی برای اندازه‌گیری دبی آن تفاوت می‌کند.

در این بخش، سه روش اساسی برای اندازه‌گیری جریان سیالات ذکر شده است که می‌توان آنها را براساس نحوه اندازه‌گیری و محاسبه دبی به صورت زیر تقسیم بندی نمود:

۱- روش مستقیم ← روش جابه‌جایی مثبت یا پیمانه‌ای

۲- روش غیر مستقیم ←  $\left. \begin{array}{l} \text{روش انسداد جریان} \\ \text{روش اثرات مقاومت سیال} \end{array} \right\}$

در مورد این دو روش، مختصراً توضیح داده می‌شود:

در روش مستقیم، اندازه‌گیری دبی سیال با استفاده از تعریف<sup>۱</sup> دبی حجمی و جرمی انجام می‌شود. در حالی که در روش غیرمستقیم، اندازه‌گیری دبی مستقیماً انجام نمی‌شود بلکه کمیتی چون فشار که با دبی رابطه مستقیم دارد، اندازه‌گیری می‌شود و سپس دبی از طریق روابط ریاضی<sup>۲</sup> میان فشار و دبی محاسبه می‌گردد.

### فعالیت

از هنرجویان خواسته شود که سوالات (۱ و ۲ و ۳ و ۶) خودآزمایی فصل را برای جلسه آینده حل کنند. ضمناً ممکن است مسائلی نیز به عنوان تکلیف برای آنها تعیین شود، مانند زیر:

### مسائل پیشنهادی<sup>۳</sup> از کاربرد دبی:

- ۱- مخزنی به حجم ۲۰ لیتر در ۲۵ ثانیه پر می‌شود. دبی آب ورودی را به دست آورید.
  - ۲- مخزنی به حجم ۳۰ لیتری با دبی ۲ Lit/s پر می‌شود. زمان پر شدن مخزن را به دست آورید.
  - ۳- مخزنی در مدت ۱۵ ثانیه با دبی ۵ Lit/s / پر می‌شود. حجم مخزن چقدر بوده است؟
- حل مسائل پیشنهادی (کاربرد دبی): توسط هنر جویان

$$V = 20 \text{ Lit} \quad , \quad t = 25 \text{ s} \quad Q = ? \quad \text{—۱—}$$

۱- تعاریف بخش‌های (۲-۴) و (۳-۴) کتاب عملیات دستگاهی

۲- نمونه‌هایی از این روابط در فصل چهارم کارگاه عملیات دستگاهی وجود دارد که همگی از «رابطه برنولی» به دست آمده‌اند.

۳- هر سه مسئله با استفاده از رابطه  $Q = \frac{V}{t}$  حل می‌شوند.



$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow Q = \frac{3^\circ}{25} = 0.12 \text{ Lit/s}$$

$$V = 3^\circ \text{ Lit} \quad , \quad Q = 2 \text{ Lit/s} \quad t = ?$$

— 2

$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow t = \frac{V}{Q} = \frac{3^\circ}{2} = 1.5 \text{ s}$$

$$t = 1.5 \text{ s} \quad Q = 0.5 \text{ Lit/s} \quad V = ?$$

— 3

$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow V = Q.t = 0.5 \times 1.5 = 0.75 \text{ Lit}$$