

برنامه زمان بندی هفته نهم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	آزمون کلی سه فصل	۴۰	
۴	حل خود آزمایی	۱۰	
۵	تدریس	۶۰	
۶	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

### برگزاری آزمون یادآوری

برای یادآوری و یادگیری مطالب فصول گذشته، طبق برنامه، آزمونی بیست نمره‌ای برگزار می‌شود. (نمونه‌ای از این آزمون).

### ارزشیابی از فصول ۱ و ۲ و ۳

زمان: ۴۰ دقیقه

۱- واحدهای زیر مربوط به کدام کمیت هستند؟ سیستم و نوع واحد را نیز مشخص کنید. (۴/۵)

الف) مگاوات (M Watt)

ب)  $\text{lbm}/\text{ft}^3$

ج) کیلومتر

۲- به موارد زیر پاسخ دهید: (۱)

الف) واحد فشار در SI :

ب) واحد انرژی حرارتی در FPS :

ج) واحد نیرو در CGS :

د) واحد گرانش در CGS :

۳- تبدیل واحد زیر را انجام دهید: (۱/۷۵)

$$\frac{2 \cdot \text{kg}}{\text{cm} \cdot \text{s}^2} = ? \frac{\text{lbm}}{\text{ft} \cdot \text{min}^2} \quad (\text{1 kg} = 2.2 \text{ lbm} , \text{1 ft} = 0.3 \text{ m})$$

۴- صفر مطلق را تعریف کنید و مقدار آن را در چهار مقیاس اندازه‌گیری دما بنویسید. (۱/۵)

۵- فاصله دمای بین دو دمای  $7^\circ\text{C}$  و  $9^\circ\text{C}$  را برحسب سلسیوس و فارنهایت به دست آورید و رابطه بین آنها

را مشخص کنید. (۱/۷۵)

۶- محدوده استفاده از ترمومترهای مایعی را بنویسید. (۰/۷۵)

۷- نقاط مرجع در مقیاس فارنهایت چه بود؟ و در چه محیط‌هایی به‌دست آمد؟ (۱/۵)

۸- فشار مطلق و فشار نسبی را تعریف کنید. (۲)

۹- اگر اختلاف سطح جیوه در یک فشارسنج نسبی ۴۰ cm خوانده شود، با توجه به این‌که چگالی جیوه  $13.6 \text{ gr/cm}^3$  است، فشار نسبی و فشار مطلق سیال را در سیستم CGS به‌دست آورید. (۲)

$$(P_{\text{Air}} = 1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg} = 1.01325 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2)$$

۱۰- اگر بخواهیم فشار مطلق یک گاز را مستقیماً از یک مانومتر بخوانیم، از چه نوع مانومتری استفاده می‌کنیم. شکل آن را رسم کنید و مقدار آن را، با توجه به شکل، به‌دست آورید. (۱/۷۵)

۱۱- جاهای خالی را پر کنید: (۳)

الف) جرم کمیتی ..... و جرم مخصوص کمیتی ..... است.

ب) lbf واحدی ..... است و مقدار آن عبارت است از: .....

ج) نانومتر یعنی ..... متر.

د) هر سال نوری معادل ..... کیلومتر است.

هـ) فاصله درجات در مقیاس سلسیوس ..... از فاصله درجات در مقیاس فارنهایت است. بنابراین در

یک فاصله مشخص تعداد درجات ..... نسبت به مقیاس فارنهایت در آن می‌گنجد.

و) ترمومتر الکلی برای محدوده دماهای ..... کاربرد دارد.

ز) برای فشار نسبی نقطه صفر در حقیقت فشار ..... است.

ح) واحد فشار مطلق در سیستم FPS ، ..... است. (جمعاً ۲۰ نمره)

### پاسخ ارزش‌یابی از فصول ۱ و ۲ و ۳

۱- الف) توان (۰/۲۵) SI – (۰/۲۵) – مشتق شده (۰/۲۵)

ب) چگالی (۰/۲۵) FPS – (۰/۲۵) – مشتق شده (۰/۲۵)

ج) طول (۰/۲۵) SI – (۰/۲۵) – مضرب (۰/۲۵)

۲- الف) پاسکال (Pa) (۰/۲۵) – ب) بی‌تی‌یو (BTU) (۰/۲۵)

ج) دین بر سانتی‌متر مربع (dyne/cm<sup>2</sup>) (۰/۲۵)

د) پوینز (gr/cm.s) (۰/۲۵)

۳-

$\frac{20 \text{ kg}}{\text{cm.s}} = \frac{20 \text{ kg}}{\text{cm.s}}$	$2/2 \text{ Lbm}$	$100 \text{ cm}$	$0/3 \text{ m}$	$(60)^2 \text{ s}$
$\frac{20 \text{ kg}}{\text{cm.s}}$	$1 \text{ kg}_{(0/25)}$	$1 \text{ m}_{(0/25)}$	$1 \text{ ft}_{(0/25)}$	$1^2 \text{ min}_{(0/5)}$

$$= 20 \times 2 / 2 \times 100 \times 60^2 \times 0/3 = 4752 \times 10^3_{(0/25)} \text{ lbm/ft.min}_{(0/25)}$$

۴- صفر مطلق : پایین ترین دمایی که در آن جنبش مولکول ها به صفر می رسد و رسیدن به آن بسیار سخت و فرضی است. (°/۵)

$$-273^{\circ}\text{C} \quad (^\circ/25) = {}^{\circ}\text{K} \quad (^\circ/25) = -460^{\circ}\text{F} \quad (^\circ/25) = {}^{\circ}\text{R} \quad (^\circ/25)$$

۵-

$$\Delta T_C = 90 - 70 = 20^{\circ}\text{C} \quad (^\circ/25)$$

$$T_F = 1/8 T_C + 32 \quad (^\circ/25)$$

$$T_1 = (1/8 \times 70) + 32 = 158^{\circ}\text{F} \quad (^\circ/25)$$

$$T_2 = (1/8 \times 90) + 32 = 194^{\circ}\text{F} \quad (^\circ/25)$$

$$\Delta T_F = 194 - 158 = 36^{\circ}\text{F} \quad (^\circ/25)$$

$$\frac{\Delta T_F}{\Delta T_C} = \frac{36}{20} = 1/8 \quad (^\circ/5)$$

یعنی تعداد درجات در مقیاس فارنهایت ۱/۸ برابر مقیاس سلسیوس است.

۶- بین نقطه انجماد و نقطه جوش مایع درون ترمومتر (°/۷۵)

۷- صفر فارنهایت (°/۲۵)، در محیطی از مخلوط یخ و کلرید آمونیم (°/۵) به دست آمد و بالاترین نقطه آن در جیوه در حال جوش (°/۵) (عدد ۶۸°/۲۵) درجه فارنهایت انتخاب شد (دمای جوشش جیوه)

۸- فشار مطلق : مقیاس اندازه گیری فشار نسبت به خلأ کامل یا فشار صفر است. (۱)

فشار نسبی : مقیاس اندازه گیری فشار نسبت به فشار محیط و هم چنین اختلاف فشار مطلق و فشار محیط است. (۱)

۹-

$$h = 4^{\circ}\text{cm}$$

$$P_{\text{Air}} = 1 \text{ atm} = 76 \text{ cm Hg}$$

این مسئله را می توان در سیستم CGS، بر حسب دو واحد cm Hg یا (dyne/cm<sup>2</sup>)، به دست آورد :  
الف) بر حسب cmHg؛ آنچه از فشار سنج خوانده می شود فشار نسبی است، پس  $P_R = 4^{\circ}\text{cmHg}$  و بنابراین :

$$P_R = 4^{\circ}\text{cmHg} \quad (1)$$

$$P_A = P_{\text{Air}} + P_R \Rightarrow P_A = 76 \text{ cmHg} + 4^{\circ}\text{cmHg} = 80 \text{ cmHg} \quad (1)$$

ب) بر حسب dyne/cm<sup>2</sup> : در این صورت فشار نسبی به صورت فشار ستون جیوه به دست می آید، یعنی :

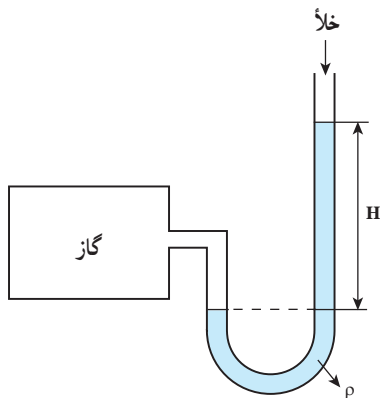
$$P_R = \rho_{\text{Hg}} g h = 13.6 \text{ g/cm}^3 \times 980 \text{ cm/s}^2 \times 4^{\circ}\text{cm} \quad (1)$$

$$P_{\text{Air}} = 1 \text{ atm} = 1.01325 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2 \quad \text{از جدول صفحه (۱۶)} :$$

$$P_A = P_{\text{Air}} + P_R \Rightarrow P_A = 1.01325 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2 + 53312^{\circ}\text{dyne/cm}^2$$

$$= 1.54637^{\circ}\text{dyne/cm}^2 \quad (1)$$

نکته : هنرجو از هر راهی حل کند نمره را کسب می کند.



(۵/۰)

۱۰- از فشارسنج مطلق یا مانومتر سر بسته (۵/۰)

$$P_{\text{گاز}} = \rho g H \quad (۵/۰)$$

۱۱-

الف) اصلی (۲۵/۰) - فرعی (۲۵/۰)

ب) مشتق شده (۲۵/۰) -  $(\frac{ft}{s}) \times 1.74 / 32$  (۵/۰) lbf = (lbm)

ج)  $10^{-9}$  (۲۵/۰)

د)  $9.4608 \times 10^{12}$  (۲۵/۰)

هـ) بیشتر (۲۵/۰) - کمتر (۲۵/۰)

و) پایین (۲۵/۰)

ز) هوای محیط اندازه گیری (۲۵/۰)

ح) Psia (۲۵/۰)

در رابطه با سؤال (۱) قسمت الف : توجه داشته باشند که مگوات، یک واحد مشتق شده است نه مضرب. زیرا پیشوندهایی مثل مگا (M) اگر جلوی واحدهای پایه قرار بگیرند واحد مضرب می سازند حال آنکه وات واحد اصلی نیست.

### حل خودآزمایی صفحه (۲۵) : توسط هنرجویان

۱- روش های اندازه گیری جریان سیالات را نام ببرید.

پاسخ : سه روش برای اندازه گیری جریان سیالات وجود دارد :

۱- روش جابه جایی مثبت (روش پیمانه ای یا مستقیم)

۲- روش انسداد جریان

۳- روش اثرات مقاومت سیال

۲- دبی حجمی و دبی جرمی را تعریف کنید.

پاسخ :

دبی حجمی : حجم سیال جابه جا شده از یک مقطع در واحد زمان

دبی جرمی : جرم سیال جابه جا شده از یک مقطع در واحد زمان

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 :

حل : از واحد مقدار سیال که  $\text{kg/s}$  است می توان فهمید دبی جرمی معین شده است. از رابطه دبی جرمی و

دبی حجمی استفاده می‌شود :

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

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{4000 \text{ kg/s}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 4 \text{ m}^3/\text{s}$$

۴- مزایای ونتوری نسبت به اری فیس را نام ببرید.

پاسخ :

الف - دقت ونتوری از اری فیس بیشتر است.

ب - ونتوری افت فشار کمتری ایجاد می‌کند.

ج - ونتوری برای اندازه‌گیری دبی سیالات کم فشار هم قابل استفاده است.

د - ونتوری سیال بیشتری از خود عبور می‌دهد.

۵- چرا کاربرد لوله شیشه‌ای برای روتامتر در فشارهای بالا صحیح نیست؟

زیرا احتمال شکستن لوله هست (در فشارهای بالا شناور به زائده بالا می‌چسبد و مقدار دبی مشخص نیست،

به همین دلیل در این فشارها استفاده از روتامتر ممنوع است بدون توجه به جنس آن).

۶- شدت جریان دبی)  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  از یک خط لوله به قطر  $12 \text{ inch}$  جریان دارد. سرعت سیال را برحسب

$\text{m/s}$  پیدا کنید (تا  $1^\circ$  تقریب محاسبه شود).

حل : چون سرعت در سیستم SI خواسته شده است پس قطر باید تبدیل به واحد شود؛ با استفاده از جدول

۱-۳ در صفحه (۶) کتاب :

$$D = \frac{12 \text{ inch}}{39/37 \text{ inch}} \times 1 \text{ m} \Rightarrow D = 0.3 \text{ m}$$

حال با استفاده از رابطه دبی حجمی در صفحه (۲۴)،

$$Q = VA \Rightarrow V = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{(3/14)(0.3 \text{ m})^2}{4} = 0.0177 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow V = \frac{5 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0177 \text{ m}^2} = 282.48 \text{ m/s}$$

## راهنمای تدریس

ابتدا در خصوص چگونگی انجام هر روش، صحبت می‌کنیم، سپس با معرفی دستگاه‌هایی<sup>۱</sup> که به آن روش کار می‌کنند. موارد مربوط به آنها را توضیح می‌دهیم، از جمله : اساس کار، ساختمان دستگاه، عملکرد، کاربرد و موارد متفرقه

### ۴-۵-۱- روش جابجایی مثبت (پیمانه‌ای)

– در این روش، که به «توزین مستقیم» نیز معروف است، اندازه‌گیری دبی جرمی که فقط خاص مایعات غیر فرار است، از «توزین مضاعف»<sup>۲</sup> استفاده می‌شود.

– روش جابه‌جایی مثبت در حقیقت یک روش حجم سنجی یا جرم سنجی است و دستگاه‌های این روش نیز، از این اصول تبعیت می‌کنند. کنتور آب منازل، مثالی از این دستگاه‌هاست.

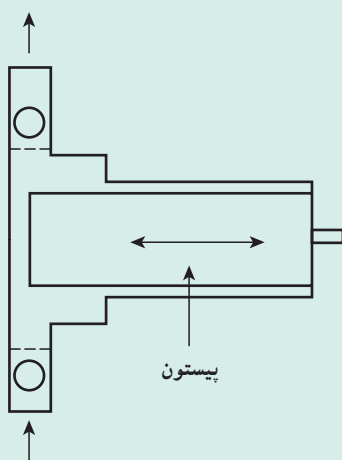
یکی از انواع این کنتورها، کنتور دیسکی است. در این کنتور، یک دیسک (صفحه) در مجرا نوسان می‌کند و در هر نوسان، حجم معینی آب از کنتور عبور می‌کند. تعداد نوسانات دیسک توسط یک دستگاه شمارنده، اندازه‌گیری می‌شود و توسط کنتور، حجم کل آب عبوری محاسبه می‌گردد و سپس نمایش داده می‌شود.

### دانستنی (۴)<sup>۳</sup>

#### پمپ‌های سنجشی یا اندازه‌گیرنده :

این پمپ‌ها براساس روش جابه‌جایی مثبت کار می‌کنند و علاوه بر پمپاژ مایع، شدت جریان آن را نیز اندازه می‌گیرند. یکی از انواع این پمپ‌ها، از نوع رفت و برگشتی (پیستونی) است. با توجه به این که حجم تخلیه شده در هر حرکت مشخص است، با شمارش تعداد حرکات در زمان مشخص، شدت جریان مایع به دست می‌آید. شکل ۴-۲ یک پمپ سنجشی پیستونی را نمایش می‌دهد.

از این وسیله، در صنایع شیمیایی جهت افزایش (تزریق) مقدار کنترل شده‌ای از افزودنی‌ها در جریان‌های فرآیندی، استفاده می‌کنند.



شکل ۴-۲- پمپ اندازه‌گیرنده

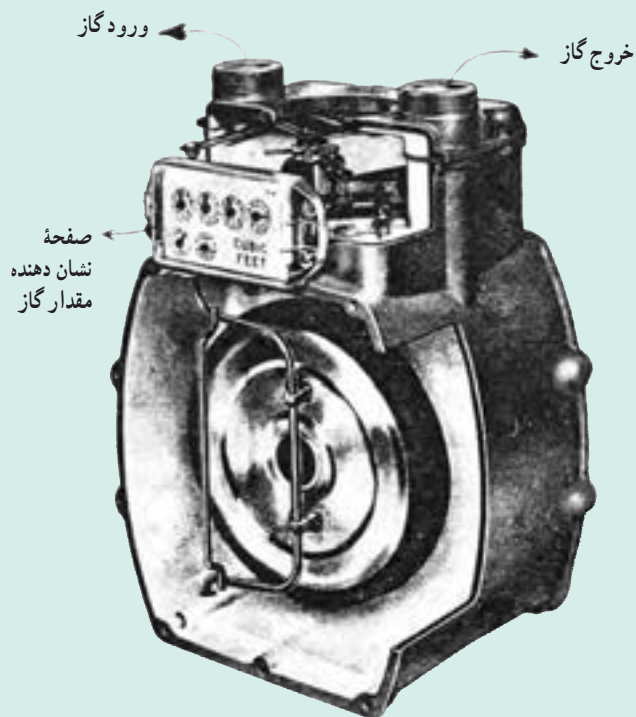
۱- در فصل چهارم کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی»، این دستگاه‌ها بررسی شده‌اند، ضمناً محاسبه دبی، پس از انجام آزمایش با دستگاه‌های مربوطه، از روابط مختلف انجام

می‌شود.

۲- محاسبه دبی جرمی، در کارگاه عملیات دستگاهی انجام می‌شود، واضح است برای این آزمایش به یک ظرف، ترازو و کرومومتر نیاز است.

۳- از کتاب «وسایل اندازه‌گیری و کنترل در فرآیندهای شیمیایی، متالورژی و معدنی» اثر و.ر. راداکریشنان

## دانستنی (۵)<sup>۱</sup>



شکل ۴-۳- گاز سنج

سنجش دبی گازها به روش جابه‌جایی مثبت: اندازه‌گیری دبی گازها با این روش، به سهولت اندازه‌گیری دبی مایعات نیست، زیرا نوع گاز و تغییر مشخصات گاز در اثر تغییر دما و فشار در اندازه‌گیری مؤثر هستند. در شکل ۴-۳ گاز سنجی مشاهده می‌شود که در آن دیافراگم ارتجاعی، عمل پیستون را در پمپ انجام می‌دهد.

## ۴-۵-۲ روش انسداد جریان :

در روش انسداد جریان، دبی به طور غیر مستقیم اندازه‌گیری می‌شود. در این روش، برخلاف جابه‌جایی مثبت<sup>۲</sup>، جریان سنجی انجام می‌شود و وسایلی که به این روش کار می‌کنند، به نام «جریان سنج»<sup>۳</sup> معروف‌اند. به دلیل رابطه‌ای که سرعت و فشار در معادله انرژی<sup>۴</sup> با یکدیگر دارند، در بسیاری از وسایلی که برای تعیین سرعت یا دبی جریان به کار می‌روند، ضرورت دارد که فشار اندازه‌گیری شود. برای مثال، می‌توان از لوله پیتوت<sup>۵</sup> جهت تعیین سرعت و جریان سنج‌های روش انسداد جریان برای اندازه‌گیری دبی نام برد. این جریان سنج‌ها طوری طراحی شده‌اند که در مقطع مورد نظر، مسیر عبور جریان را کوچک می‌کنند. در نتیجه سیال دچار افت فشار می‌شود که با یک مانومتر دیفرانسیلی جیوه‌ای (یا دوپیزومتر) قابل اندازه‌گیری است. سپس با استفاده از روابط تجربی<sup>۶</sup> میان دبی و افت فشار، دبی محاسبه می‌گردد. - جهت افزایش بازده آموزشی، ابتدای فیس متر، سپس نازل و در انتها و تئوری متر توضیح داده شود. این ترتیب براساس تکامل شکل دستگاه‌ها، افزایش دقت و بازده آنهاست.

۱- از کتاب «دستگاه‌های اندازه‌گیری و کنترل» اثر شهزاد برقی

۲- چنانکه قبلاً گفته شد جابه‌جایی مثبت یک روش حجم سنجی یا جرم سنجی است.

۳- Flow meter

۴- منظور «معادله برنولی» است که در قسمت‌های بعد توضیح داده می‌شود.

۵- در کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی» لوله پیتوت در واقع ابزاری جهت تعیین سرعت نامیده شده است. این وسیله نیز براساس رابطه میان فشار و سرعت و دبی کار می‌کند.

۶- هنجریان در «کارگاه عملیات دستگاهی» با کاربرد این گونه «روابط تجربی»، در محاسبات آشنا می‌شوند. این روابط به طور کلی به صورت  $Q = C\sqrt{\Delta P}$  مشاهده می‌شوند.

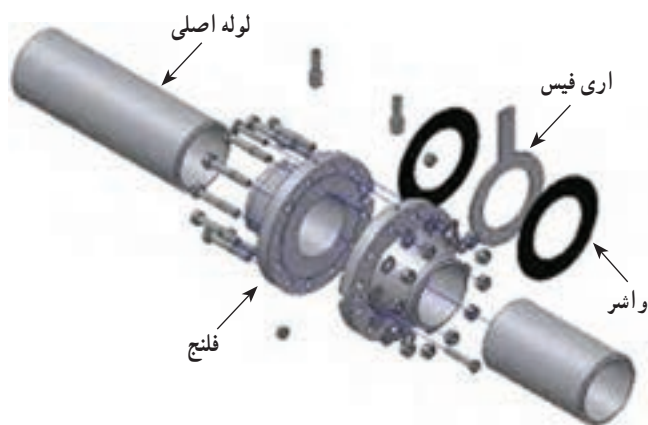
– تأکید بر این جمله کلیدی، ضروری است :

«با کوچک شدن سطح مقطع، فشار سیال کاهش و سرعت آن افزایش می‌یابد.»<sup>(۱)</sup>

– سه جریان سنج به روش انسداد جریان، دبی را اندازه‌گیری می‌کنند که مختصراً در مورد هر کدام مطالبی بیان می‌شود :

۱– اری فیس متر : اری فیس‌ها، صفحات مدوری

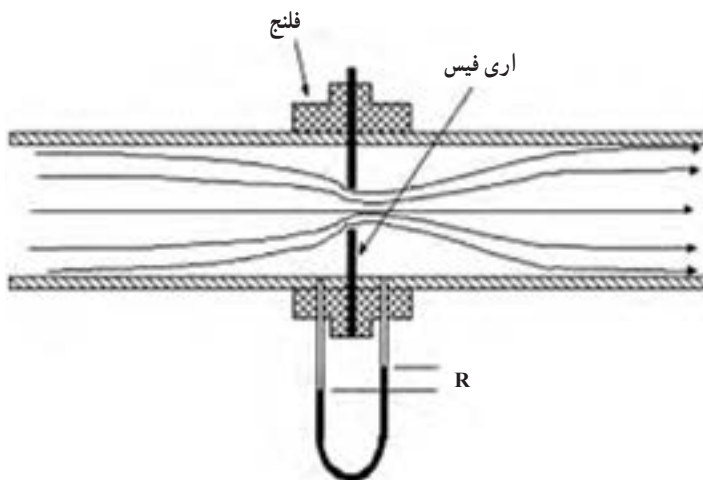
هستند معمولاً از جنس فولاد ضد زنگ که روی آنها سوراخی وجود دارد و افت فشار در همین روزنه به وجود می‌آید. جهت نصب اری فیس در لوله، آن را میان دو فلنج و بین دو لایه غیر فلزی (به صورت واشر برای آب‌بندی همراه با گریس) قرار می‌دهند، به طوری که روزنه در محل مناسبی در مقطع لوله اصلی قرار بگیرد و بعد با پیچ و مهره، فلنج‌ها را محکم می‌بندند. در شکل ۴-۴ اجزای مذکور مشاهده می‌شوند.



شکل ۴-۴ اجزای لازم جهت نصب اری فیس

شکل ۴-۵، یک اری فیس متر را نشان می‌دهد. هم‌چنان که مشاهده می‌شود شاخه‌های مانومتر دیفرانسیلی به ترتیب قبل از

روزنه (ناحیه فشار بالا) و بعد از روزنه (ناحیه فشار پایین) نصب می‌شوند و مقدار (R)، افت فشار موقت را مشخص می‌کند.



شکل ۴-۵ اری فیس متر

بعد از روزنه، مقطع عبور برای سیال افزایش می‌یابد و در نتیجه فشارش بالا می‌رود ولی هیچ زمان به اندازه فشار قبل از روزنه

نمی‌رسد. اختلاف این دو فشار را «افت فشار دائم» می‌نامند که با انتخاب یک پمپ مناسب، می‌توان آن را جبران کرد. در شکل ۴-۶

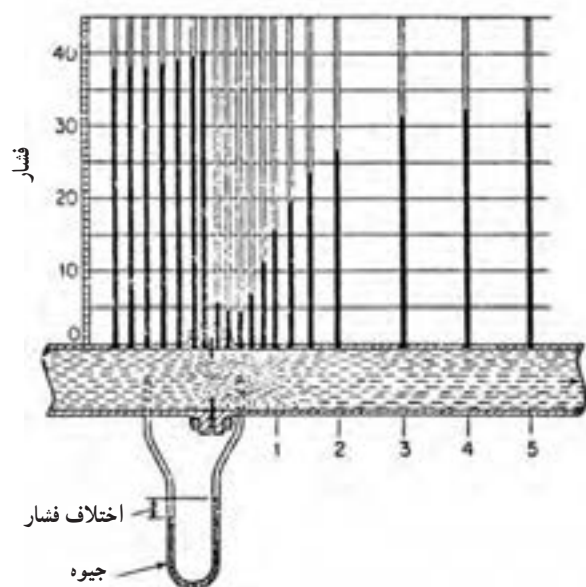
این دو کمیت مهم با توجه به ارتفاع مایع درون پیژومترها، قابل اندازه‌گیری هستند. بر این اساس؛ افت فشار موقت و دائم با فرض

۱– کاهش فشار به دلیل کاهش مقدار سیال عبوری است و افزایش سرعت را می‌توان در پاسخ به این سؤال جست‌وجو کرد؛ چرا موقع آب دادن گل‌ها، انگشت خود را بر دهانه

شلنگ می‌گذارند؟ در این حالت مقدار آب کم می‌شود ولی در عوض، آب می‌تواند مسافت بیشتری را طی کند و فاصله دورتر را نیز سیراب کند که به معنی افزایش سرعت است. راه دیگر

اثبات افزایش سرعت، استفاده از ثابت بودن دبی در مقاطع  $A_1$  و  $A_2$  است، به این صورت :  $A_1 > A_2 \Rightarrow V_1 < V_2$  و  $Q_1 = Q_2 \Rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2$





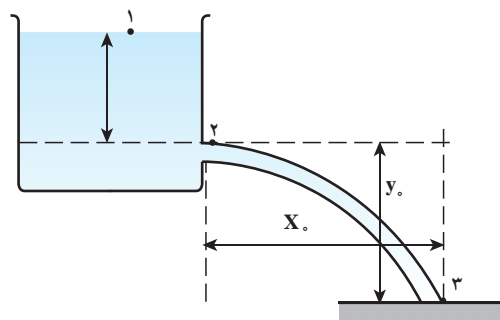
شکل ۴-۶ افت فشار در اثر قرار دادن اری فیس در مسیر جریان

این که سیال، آب باشد به صورت زیر محاسبه می شود :

$$\text{افت فشار موقت} = 37 - 15 = 12 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$\text{افت فشار دائم} = 37 - 32 = 5 \text{ cmH}_2\text{O}$$

در میان جریان سنج‌های روش انسداد جریان، اری فیس بیشترین افت فشار دائم را ایجاد می‌کند و این از معایب اری فیس متر است.



شکل ۴-۷ اری فیس در دیواره مخزن

یکی دیگر از کاربردهای رایج اری فیس، اندازه‌گیری دبی خروجی از یک مخزن است. (مانند شکل ۴-۷) در اری فیس متر، دبی سیال از روابط تجربی محاسبه می‌گردد.<sup>۲</sup>

## دانستنی (۶)

در مورد «اری فیس متر» بیشتر بدانیم :

قدیمی‌ترین و معمول‌ترین وسیله ایجاد افت فشار، اری فیس است که اولین بار توسط رومی‌ها در زمان سزار، برای کنترل مقدار آب در مجراهای مختلف به منظور آبیاری به کار رفته است. ساده‌ترین شکل اری فیس عبارت است از صفحه فلزی نازکی که در وسط آن سوراخ دایره‌ای شکلی وجود دارد. اری فیس براساس شکل لبه سوراخ در ضخامت صفحه، به دو صورت طراحی می‌شود :

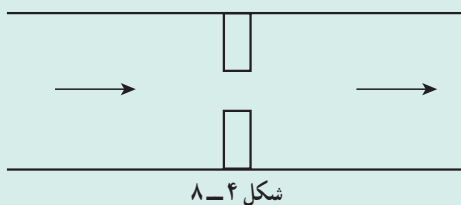
۱- این مسئله برای اری فیس محدودیت ایجاد می‌کند. بنابراین، نمی‌توان از آن، در فشارهای کم سیالات استفاده کرد.

۲- نمونه این روابط به شرح زیر است :

$$Q = CA_s \sqrt{2gR \left( \frac{s_2}{s_1} - 1 \right)}$$

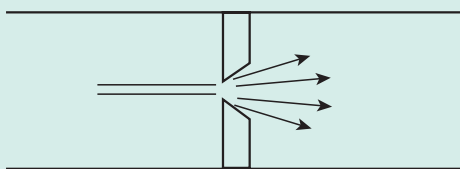
$$Q = CA_s \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

این روابط که از معادله برنولی به دست آمده‌اند، در کارگاه عملیات دستگاهی، جهت محاسبه دبی کاربرد دارند. گفتنی است در این خصوص آزمایش‌هایی نیز انجام می‌شود.



شکل ۸-۴

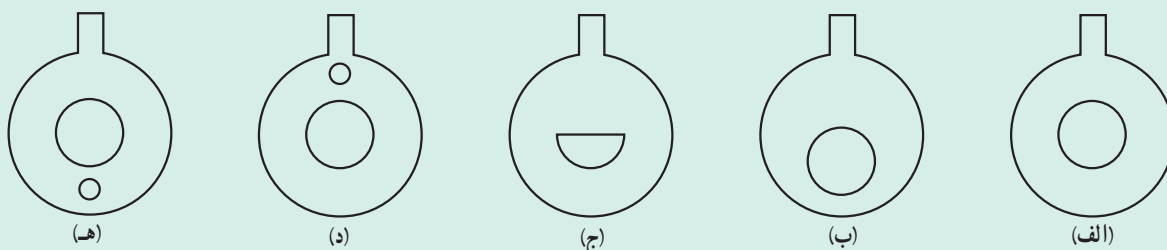
۱- اری فیس لبه مربعی؛ که ارزان‌ترین نوع است و برای سیالات چند فاز، به علت مسدود شدن، توصیه نمی‌شود، شکل ۸-۴ برشی از یک اری فیس لبه مربعی را نشان می‌دهد.



شکل ۹-۴

۲- اری فیس لبه مخروطی؛ که دارای افزایش تدریجی سطح مقطع در ضخامت صفحه است. این طرح انتخاب بهتری برای جریان‌های با سرعت کم و گرانروی بالاست. شکل ۹-۴ این نوع اری فیس را نمایش می‌دهد.

در هر دو طرح باید به این نکته توجه شود که لبه سوراخ در سمت فشار زیاد، کاملاً تیز باشد؛ زیرا در غیر این صورت اثر نامطلوبی بر جریان دارد و باعث کاهش دقت در اندازه‌گیری می‌شود. مکان، شکل و تعداد روزنه‌ها موجب می‌شوند صفحه اری فیس طراحی‌های مختلف داشته باشد (مانند شکل ۱۰-۴).



شکل ۱۰-۴ انواع اری فیس (الف) اری فیس سوراخ در مرکز (رایج‌ترین) (ب) اری فیس سوراخ خارج از مرکز (برای سیالات سنگین و رسوب‌دار) (ج) اری فیس سوراخ نیم دایره (برای سیالات سنگین و رسوب‌دار) (د) اری فیس دو سوراخه (برای مایعاتی که در بالای آنها گاز است). (ه) اری فیس دو سوراخه (برای گازهایی که در زیر آنها رسوب مایع است).

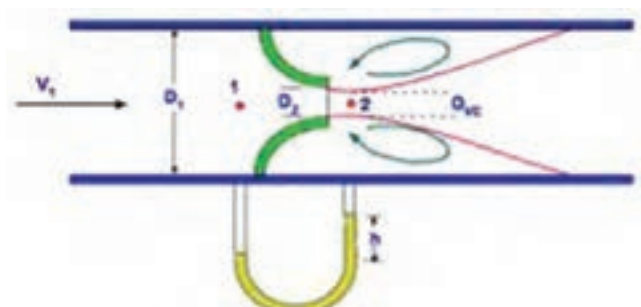
#### نازل<sup>۱</sup> (شیپوره):

نازل، جریان‌سنجی است که به روش انسداد جریان کار می‌کند. نازل، لوله‌ای است که سطح مقطع آن از ابتدا تا انتها کاهش می‌یابد. (مانند شکل ۱۱-۴)



شکل ۱۱-۴ نازل

سیال در دهانه نازل، دچار افت فشار می‌شود که با یک مانومتر دیفرانسیلی قابل اندازه‌گیری است. (مانند شکل ۱۲-۴)



شکل ۴-۱۲

چنانکه در شکل ۴-۱۲ دیده می‌شود نقطه (۱) و (۲) به ترتیب ناحیه فشار بالا و پایین<sup>۲</sup> در لوله هستند که محل نصب مانومترند و معادله انرژی<sup>۳</sup> بین این دو نقطه نوشته می‌شود که از آن دبی محاسبه می‌گردد.

از خاصیت افزایش سرعت در دهانه نازل، جهت ورود یا خروج مایعات و گازها از لوله‌ها<sup>۴</sup> و مخازن<sup>۵</sup> استفاده می‌کنند. در شکل‌های ۴-۱۳ و ۴-۱۴ نمونه‌هایی از این وسایل مشاهده می‌شوند.



شکل ۴-۱۴- نازل‌های خروجی یا ورودی



شکل ۴-۱۳- نازل‌های ورودی یا خروجی

## راهنمای تدریس

### لوله ونتوری متر<sup>۶</sup>

ونتوری متر نیز براساس روش انسداد جریان کار می‌کند. در شکل

۴-۱۵ یک ونتوری متر صنعتی نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۵- ونتوری

۱- High Pressure (HP)

۲- Low Pressure (LP)

۳- منظور «معادله برنولی» است که براساس آن رابطه زیر به دست می‌آید:

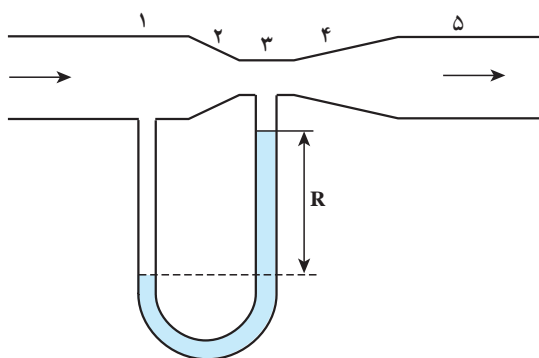
$$Q = CA_v \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

این رابطه در کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی» فصل چهارم، معرفی شده است.

۴- مثلاً به هنگام آبیاری، سر لوله را نازل قرار می‌دهند تا فاصله‌های دور را نیز پوشش دهند. یا جهت پخش مایع یا گاز در یک مخزن (به صورت توزیع کننده)

۵- مثلاً در تفکیک کننده‌های نفت و گاز، در ورودی و خروجی‌ها از نازل استفاده می‌شود.

۶- Venturimeter tube



شکل ۴-۱۶- لوله ونتوری

اجزای ساختمانی یک لوله ونتوری براساس شکل ۴-۱۶

عبارتند از:

۱- مدخل ورودی ونتوری که به صورت یک استوانه کوتاه است. قطر این قسمت برابر قطر لوله ای است که لوله ونتوری در آن قرار می گیرد. یکی از شاخه های مانومتر دیفرانسیلی یا پیزومتر در این ناحیه، که فشار بالا است، نصب می شود.

۲- قسمت مخروطی هم گرا

۳- گلوگاه ونتوری که یک استوانه کوتاه است و افت فشار موقت در این ناحیه اتفاق می افتد. در این ناحیه، شاخه دیگر مانومتر متصل می شود (ناحیه فشار کم).

۴- قسمت مخروطی واگرا

۵- مدخل خروجی ونتوری که یک استوانه کوتاه است و قطر آن برابر قطر لوله اصلی است.

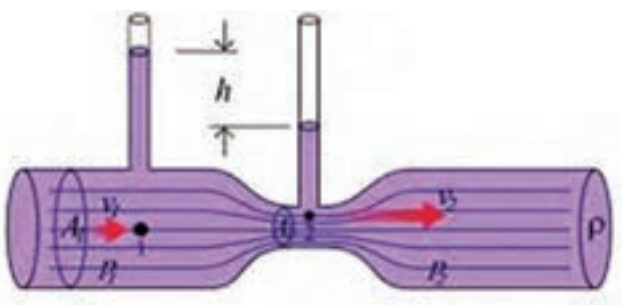
در لوله ونتوری از ابتدا تا گلوگاه، سطح مقطع برای عبور جریان کوچک می شود تا در گلوگاه به حداقل می رسد. در گلوگاه افت فشار به بالاترین حد خود می رسد، که قابل اندازه گیری است. بعد از گلوگاه تا مدخل خروجی، سطح مقطع دوباره افزایش می یابد

و فشار نیز بیشتر می شود ولی هرگز به فشار در مدخل ورودی نمی رسد و به این ترتیب سیال دچار افت فشار دائم می شود.

با خواندن اختلاف سطح مایع (جیوه) در مانومتر

دیفرانسیلی و مایع مورد نظر در پیزومترها (مطابق شکل

۴-۱۷) و استفاده از رابطه فیزیکی بین افت فشار و دبی، دبی سیال محاسبه می شود.



شکل ۴-۱۷- ونتوری متر

## دانستنی (۷)

بیشتر در مورد ونتوری متر بدانیم:

اندازه ونتوری با قطر لوله و گلوگاه آن مشخص می شود، مثلاً اگر قطر لوله ۸ سانتی متر و قطر گلوگاه ۶ سانتی متر باشد اندازه این ونتوری متر به این صورت بیان می شود:

ونتوری ۸ در ۶ سانتی متر

برای این که نتایج حاصل از اندازه گیری دبی توسط ونتوری دقیق باشد، باید طول ونتوری حداقل ده برابر قطر لوله اصلی باشد.

روابط فیزیکی بین دبی سیال و افت فشار حاصله از نصب جریان سنج های انسداد جریان، که برای نازل واری فیس و ونتوری به ترتیب در صفحات قبل به صورت پاورقی ارائه شد از «معادله برنولی» به دست آمده اند<sup>۱</sup>.

۱- جهت کسب اطلاعات بیشتر در این زمینه به کتاب مکانیک سیالات استریتروایلی یا کتاب های مرتبط مراجعه نمایید.

#### ۴-۵-۳- مقایسه اری فیس و ونتوری متر

##### راهنمای تدریس

در کتاب عملیات دستگاهی به پنج مورد اشاره شده است. علاوه بر آنها، می‌توان موارد دیگری را نیز ذکر کرد :

۱- از نظر دقت؛ دقت اندازه‌گیری اری فیس نسبت به ونتوری کمتر است، به دو دلیل :

الف) ممکن است لبه‌های روزنه در اثر برخورد با سیال پر سرعت، تیزی خود را از دست بدهند و قطر تغییر کند (D) و این

باعث خطا می‌شود.

ب) روزنه اری فیس حکم گلوگاه را دارد و افت فشار موقت دقیقاً در آن جا اتفاق می‌افتد و برای اندازه‌گیری آن نمی‌توان شاخه

سمت راست مانومتر را در روزنه قرار داد و این نیز موجب خطاست.

۲- از نظر افت فشار دائم تولیدی؛ اری فیس افت فشار دائم بیشتری تولید می‌کند. حدود ۵٪ افت فشار موقت را به صورت

دائم در سیال حفظ می‌کند.

۳- از نظر هزینه ساخت، نصب، تعمیر و نگهداری، اری فیس به صرفه است و این برای اری فیس یک حسن است.

۴- از نظر میزان سیال عبوری؛ ونتوری می‌تواند ۲۰ تا ۵۰ درصد بیشتر از اری فیس؛ جریان را از خود عبور دهد.

۵- از نظر مقدار ضریب تخلیه؛ ضریب تخلیه ونتوری معمولاً بیشتر از اری فیس است.

۶- از نظر کاربرد؛ این دو وسیله هر کدام محدودیت‌هایی دارند. به این صورت که از اری فیس، به علت تولید افت فشار دائم

زیاد، برای اندازه‌گیری دبی سیالات کم فشار استفاده نمی‌کنند و ونتوری را، به علت بلند بودن طول لوله‌اش، در لوله‌های کوتاه به کار

نمی‌برند.

در یک مقایسه، از نظر افت فشار تولیدی، نتیجه زیر به دست می‌آید :

ونتوری > نازل > اری فیس

این ترتیب از نظر هزینه برعکس است.

#### ۴-۵-۴- روش اثرات مقاومت سیال :

این روش براساس تعادل نیروهای وارده بر یک جسم غوطه‌ور در

سیالات، تعریف می‌شود. جریان سنجی که به این روش کار می‌کند، «روتامتر»<sup>۱</sup>

نام دارد. نمونه‌هایی از روتامترها در شکل ۴-۱۸ مشاهده می‌شود. روتامتر،

تشکیل شده از یک لوله قائم مخروطی و اگرآ که در آن یک جسم به نام شناور<sup>۲</sup>

یا شاقول وجود دارد. جنس شناور طوری انتخاب می‌شود که وزن مخصوص

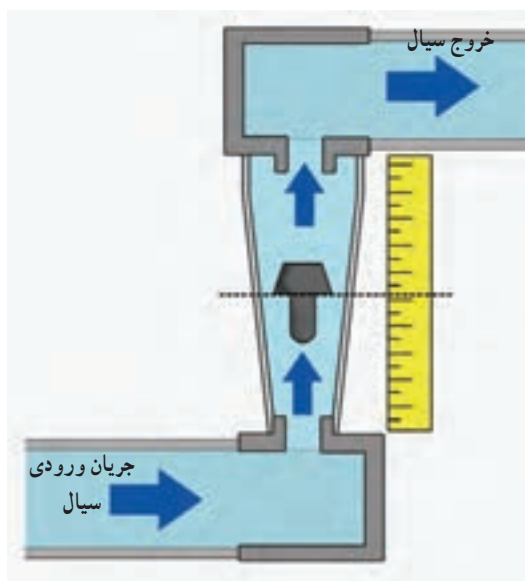
آن کمی بیشتر از سیال عبوری باشد.



شکل ۴-۱۸- روتامترهای صنعتی

۱- Rotameter

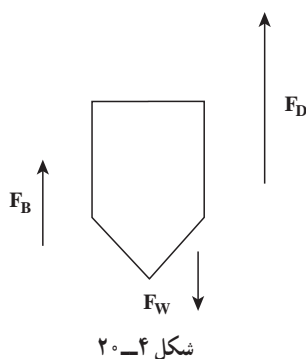
۲- Float



شکل ۴-۱۹- روماتر

وقتی سیالی از روماتر عبور نمی‌کند، شناور در پایین‌ترین نقطه روماتر (ناحیه فشار بالا) قرار می‌گیرد. سیال از پایین وارد روماتر می‌شود و متناسب با دبی و فشارش، شناور را به سمت بالا حرکت می‌دهد. لوله روماتر شفاف است و برحسب دبی مدرج شده است. مقدار دبی سیال در محل توقف شناور قرائت می‌شود مانند شکل ۴-۱۹ که عملکرد یک روماتر را نشان می‌دهد.

در صورتی که سیال تیره باشد، به طوری که مکان شناور مشخص نباشد، روماتر را از قسمت پشت، با چراغی روشن می‌کنند و شناور را با یک ماده فلورسانس می‌پوشانند تا عمل خواندن مقدار جریان را سهل‌تر سازد.



شکل ۴-۲۰

در روماتر، سطح مقطع عبور جریان از پایین به بالا افزایش می‌یابد<sup>۱</sup>، در نتیجه افت فشار در طول روماتر ثابت می‌ماند. از طرف دیگر این اختلاف سطح جهت به تعادل رسیدن نیروهای وارده بر شناور یک عامل اصلی است و نهایتاً در نقطه‌ای از روماتر متوقف می‌شود. جهت بررسی عملکرد روماتر، به شکل ۴-۲۰ توجه شود.

نیروهای وارده بر شناور عبارت‌اند از:

۱- نیروی وزن شناور  $(F_W)$ <sup>۲</sup>

۲- نیروی بالا برنده سیال  $(F_D)$  ناشی از سرعت و دبی سیال

۳- نیروی شناوری یا ارشمیدس  $(F_B)$ <sup>۳</sup>

اگر نیروهای رو به بالا، مثبت در نظر گرفته شوند، با توجه به این که زمانی شناور می‌ایستد که برآیند نیروهای وارده صفر باشد، توازن نیروها، به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$F_D + F_B - F_W = 0$$

در طول روماتر، نیروی وزن تغییر چندانی نمی‌کند. در صورت ثابت ماندن دما (چگالی و حجم تابع دما هستند) نیروی شناوری نیز ثابت می‌ماند، پس می‌توان رابطه مذکور را به این صورت تنظیم کرد:

$$F_D = F_W - F_B$$

و فقط نیروی بالا برنده سیال است که به دو دلیل کاهش می‌یابد:

۱- حرکت رو به بالای سیال

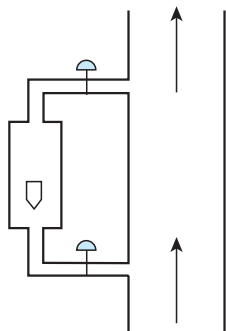
۱- در بعضی منابع روماتر را در واقع «جریان سنج با سطح مقطع متغیر» دانسته‌اند.

۲- در  $F$ ؛ (Force) و  $w$  نماد weight است که در فصل اول به آنها اشاره شده است.

۳- نیروی شناوری یا ارشمیدس: وقتی جسمی در سیالی قرار می‌گیرد، نیرویی از طرف سیال بر جسم وارد می‌شود که به آن شناوری می‌گویند که مقدار آن برابر است با وزن سیال جابه‌جا شده یا وزن سیال هم حجم جسم (و این باعث سبک شدن جسم می‌شود). مقدار این نیرو عبارت است از:  $F = \rho v g$  که در آن:  $\rho$  = چگالی سیال،  $v$  = حجم سیال جابه‌جا شده،  $g$  = شتاب جاذبه

۲- افزایش سطح عبوری برای سیال، که باعث کاهش نیروی وارده از طرف سیال بر شناور  $F_D$  می‌شود. پس باتوجه به مطالب بالا می‌توان گفت تا وقتی  $F_D > F_W - F_B$  باشد شناور رو به بالا حرکت می‌کند و چون  $F_D$  مدام در حال کاهش است زمانی می‌رسد که بین  $F_D$  و برآیند وزن و شناوری  $(F_W - F_B)$  تعادل برقرار شود. یعنی  $F_D = F_W - F_B$  شود که در این زمان شناور می‌ایستد که از قسمت بالای آن، دبی را از روتامتر می‌خوانند.

روتامتر ساده‌ترین و راحت‌ترین وسیله اندازه‌گیری دبی حجمی مایعات و گازهاست، که برای نمایش بصری دبی سیال استفاده می‌شود. بدنه روتامتر با استفاده از روابط تجربی دبی<sup>۱</sup>، برحسب دبی مدرج شده است. گستره اندازه‌گیری روتامترها محدود است ولی دقت آنها نسبتاً بالاست و استفاده از آنها در صنعت بسیار رایج است. افت فشار حاصله در روتامترها در مقایسه با جریان سنج‌های انسداد جریان کمتر است.



شکل ۴-۲۱

- به دو دلیل ممکن است روتامترها را خارج از مسیر اصلی جریان سیال نصب کنند :
- ۱- اگر اختلالی در کار روتامتر پیش بیاید، بدون ایجاد وقفه در جریان سیال، روتامتر تعویض می‌گردد. شکل ۴-۲۱ این طریق نصب روتامتر را نشان می‌دهد.
  - ۲- اگر مقدار جریان سیال خارج از دامنه اندازه‌گیری روتامتر باشد می‌توان یک جریان فرعی از جریان اصلی مایع منشعب کرد و آن را به روتامتر فرستاد و با دانستن مقدار جریان فرعی و نسبت آن با جریان اصلی، دبی واقعی را مشخص نمود.

#### ۴-۶- روش اندازه‌گیری دبی به وسیله سرعت سیال

این بخش با استفاده از سرعت حرکت سیال جهت محاسبه دبی حجمی، که در دانستنی (۳) به آن اشاره شده است، ارتباط دارد.

در این بخش تأکید بر جمله کلیدی زیر ضروری است :

در دبی ثابت، با افزایش سطح مقطع، سرعت کاهش می‌یابد.

۱- دبی حجمی جریان در روتامتر توسط رابطه زیر به دست می‌آید :

$$Q = C A_b \sqrt{\frac{\gamma_g \left( \frac{V_f (\rho_f - \rho)}{A_f} - \rho h_f \right)}{\rho [1 - (A_b/A_a)^2]}}$$

در این رابطه :

$C$  ضریب تخلیه،  $A_b$  سطح مقطع روتامتر در بالای شناور،  $A_a$  سطح مقطع روتامتر در پایین شناور،  $V_f$  سرعت جریان،  $\rho_f$  چگالی شناور،  $\rho$  چگالی سیال و  $h_f$  ارتفاع شناور

است.



## سؤالات پیشنهادی برای طرح آزمون

### الف) تعاریف

- ۱- دبی حجمی را تعریف کنید و براساس آن رابطه‌ای برای دبی حجمی بنویسید.
- ۲- دبی جرمی را تعریف کنید و رابطه‌ی محاسبه آن را براساس تعریفش بنویسید.
- ۳- عوامل تعیین کننده‌ی روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات را بنویسید.
- ۴- روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات را نام ببرید و برای هر یک دستگاهی را مثال بزنید.
- ۵- روش جابه‌جایی مثبت را تعریف کنید و بگویید چه دستگاهی به این روش کار می‌کند؟
- ۶- کنتور آب منازل به چه روشی کار می‌کند؟ اساس کار آن به چه شکلی است؟
- ۷- روش انسداد جریان را تعریف کنید و دستگاه‌هایی را که به این روش کار می‌کنند، نام ببرید.
- ۸- لوله و نتوری را رسم کنید و قسمت‌های مختلف آن را روی شکل نشان دهید.
- ۹- اری فیس متر چیست؟ به چه روشی کار می‌کند؟ افت فشار در کدام قسمت اری فیس اتفاق می‌افتد؟
- ۱۰- توضیح دهید که چگونه دبی یک سیال با یک نازل اندازه‌گیری می‌شود؟
- ۱۱- آیا دستگاه‌هایی که به روش انسداد جریان کار می‌کنند، مستقیماً دبی سیال را اندازه می‌گیرند؟ توضیح دهید.

- ۱۲- اری فیس و نتوری را مقایسه کنید.
- ۱۳- روتامتر به چه روشی کار می‌کند؟ ساختمان آن و عملکرد آن را توضیح دهید.
- ۱۴- در چه مواردی استفاده از روتامتر ممنوع است؟
- ۱۵- اگر دبی سیال عبوری ثابت باشد، رابطه‌ی سطح مقطع و سرعت سیال چگونه است؟ (از روی رابطه توضیح دهید)

توجه : پاسخ تمامی سؤالات در متن کتاب وجود دارد.

### ب) جاهای خالی را پر کنید :

- ۱- روتامتر به روش ..... کار می‌کند.
- ۲- محل قرار گرفتن شناور در روتامتر به ..... بستگی دارد.
- ۳- افت فشار در روتامترها ..... است.
- ۴- میزان افت فشار در روتامترها بستگی به ..... آن دارد.
- ۵- در دبی ثابت، سطح مقطع و سرعت سیال با هم رابطه ..... دارند.
- ۶- با نصب اری فیس سر راه سیال، افت فشار در ..... اتفاق می‌افتد.
- ۷- برای مشاهده افت فشار و اندازه‌گیری آن در لوله و نتوری از ..... استفاده می‌شود.
- ۸- با نصب و نتوری سر راه سیال، افت فشار در ..... اتفاق می‌افتد.
- ۹- لوله و نتوری دارای یک مدخل ورودی و خروجی معادل ..... لوله جریان است.
- ۱۰- دقت اندازه‌گیری و نتوری نسبت به اری فیس ..... است.



- ۱۱- افت فشار دائم تولیدی توسط ونتوری نسبت به اری فیس ..... است.
- ۱۲- برای لوله‌های کوتاه از ..... استفاده نمی‌شود.
- ۱۳- برای سیالات با فشار کم از ..... استفاده نمی‌شود.
- ۱۴- هزینه نصب و نگهداری ونتوری از اری فیس ..... است.
- ۱۵- در محاسبات جهت تبدیل دبی حجمی و جرمی به یکدیگر از ..... سیال استفاده می‌شود.
- پاسخ: برای پر کردن جاهای خالی به متن فصل چهارم در کتاب درسی مراجعه شود.

ج) مسائلی مرتبط با دبی:

- ۱-  $2000 \text{ Lit/min}$  مایعی با چگالی  $75 \text{ gr/cm}^3$  از لوله‌ای به قطر  $2 \text{ m}$  می‌گذرد. دبی جرمی مایع را در سیستم CGS به دست آورید.
- حل: اطلاعات مسئله عبارت‌اند از:

$$Q = 2000 \text{ L/min}$$

$$\rho = 75 \text{ gr/cm}^3, D = 2 \text{ m}$$

$$m^\circ = ?$$

فرمول مورد استفاده، رابطه دبی حجمی و دبی جرمی است:

$$m^\circ = \rho Q$$

چون دبی جرمی را در سیستم CGS خواسته‌اند، پس باید  $\rho$  و  $Q$  به سیستم CGS انتقال یابند.

$$Q = \frac{2000 \cancel{\text{L}}}{\text{min}} \times \frac{10^3 \text{ cm}^3}{1 \cancel{\text{L}}} = 2 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$m^\circ = 75 \text{ gr/cm}^3 \times 2 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{min} = 1.5 \times 10^8 \text{ gr/min}$$

چنان‌که دیده می‌شود یکی از اطلاعات، یعنی قطر لوله ( $D$ ) اضافی است.

- ۲- سیالی با سرعت  $20 \text{ m/s}$  از لوله‌ای به قطر  $2 \text{ m}$  می‌گذرد. اگر چگالی سیال  $1000 \text{ kg/m}^3$  باشد، دبی حجمی و دبی جرمی سیال را محاسبه کنید.
- حل:

$$\begin{cases} V = 20 \text{ m/s} & , D = 2 \text{ m} & , \rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \\ Q = ? & m^\circ = ? \end{cases}$$

$$Q = VA$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \times 2^2}{4} = 3.14 \text{ m}^2$$

$$Q = 20 \text{ m/s} \times 3.14 \text{ m}^2 = 62.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$m^{\circ} = \rho Q \Rightarrow m^{\circ} = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0.628 \text{ m}^3/\text{s} = 628 \text{ kg/s}$$

۳- مقدار ۱۰۰ cc آب را در مدت ۱۰ ثانیه جمع آوری کرده ایم. دبی آب چه قدر است؟  
حل :

$$V = 100 \text{ cc (یا cm}^3 \text{ یا mL)}, \quad t = 10 \text{ s}$$

$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow Q = \frac{100 \text{ cm}^3}{10 \text{ s}} = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$$

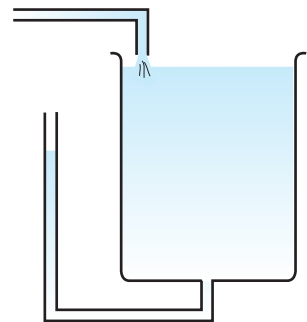
۴- مساحت کف یک مخزن به شکل مکعب مستطیل ۸ m<sup>۲</sup> است. با ورود جریان دائمی مایع به مدت ۱۲ دقیقه، عمق مایع در مخزن ۱/۳ m افزایش می یابد. دبی جریان را بر حسب لیتر بر ثانیه به دست آورید.  
حل :

نکته : روش محاسبه دبی، جابه جایی مثبت است که در بعضی از کارگاه های عملیات دستگاهی مورد استفاده قرار می گیرد. به این صورت که در کنار مخزن، از نمایشگر سطح مایع استفاده می شود و زمان افزایش ارتفاع مایع در مخزن را با کروномتر اندازه می گیرند. سپس حجم مایع جابه جا شده در واحد زمان به صورت زیر به دست می آید :

افزایش ارتفاع مخزن  $\times$  سطح مقطع مخزن = حجم مایع جابه جا شده

$$\Rightarrow \text{حجم مایع جابه جا شده} = 8 \text{ m}^2 \times 1/3 \text{ m} = 10/4 \text{ m}^3$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{10/4 \text{ m}^3}{12 \text{ min}} \left| \frac{10^3 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \right| \left| \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right| = 14/44 \text{ L/s}$$



شکل ۲۲-۴

نکته : این مسئله از راه محاسبه سرعت نیز به صورت زیر قابل حل است :

$$V = \frac{L}{t} = \frac{1/3 \text{ m}}{12 \text{ min}} \left| \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right| = 1/8 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$Q = VA = 1/8 \times 10^{-3} \text{ m/s} \times 8 \text{ m}^2 = 14/44 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = \frac{14/44 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{\text{s}} \left| \frac{10^3 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \right| = 14/44 \text{ L/s}$$