هفتهٔ نهم

	برنامهٔ زمان بندی هفتهٔ 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

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

الف) مگا وات (M Watt)

ب) lbm/ft^3

ج) کیلومتر

۲ــ به موارد زیر پاسخ دهید : (۱)

الف) واحد فشار در SI :

ب) واحد انرژی حرارتی در FPS :

ج) واحد نیرو در CGS :

د) واحد گرانروی در CGS :

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

$$\frac{۲۰kg}{cm.s^2}=?\frac{lbm}{ft.min^2}\quad (۱kg=۲/۲lbm\ ,\ ۱ft=۰/۳m)$$

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

۵ــ فاصلهٔ دمایی بین دو دمای $۷۰^{\circ}C$ و $۹۰^{\circ}C$ را برحسب سلسیوس و فارنهایت به‌دست آورید و رابطهٔ بین آنها را مشخص کنید. (۱/۷۵)

۶ــ محدودهٔ استفاده از ترمومترهای مایعی را بنویسید. (۰/۷۵)

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

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

۹ــ اگر اختلاف سطح جیوه در یک فشارسنج نسبی ۴۰cm خوانده شود، با توجه به این‌که چگالی جیوه $۱۳/۶ gr/cm^۳$ است، فشار نسبی و فشار مطلق سیال را در سیستم CGS به‌دست آورید. (۲)

$(P_{Air} = ۱atm = ۷۶cmHg = ۱/۰۱۳۲۵ \times ۱۰^۶ \ dyne/cm^۲$

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

۱۱ــ 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) فاصلهٔ درجات در مقیاس سلسیوس ..... از فاصلهٔ درجات در مقیاس فارنهایت است. بنابراین در یک فاصلهٔ مشخص تعداد درجات ..... نسبت به مقیاس فارنهایت در آن می‌گنجد.

و) ترمومترالکلی برای محدودهٔ دماهای ..... کاربرد دارد.

ز) برای فشار نسبی نقطهٔ 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

۱ــ الف) توان (۰/۲۵) ــ SI (۰/۲۵) ــ مشتق شده (۰/۲۵)

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

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

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

ج) دین بر سانتی‌متر مربع $(dyne/cm^۲)$ (۰/۲۵)

د) پویز $(gr/cm.s)$ (۰/۲۵)

۳ــ

$$\frac{۲۰kg}{cm.s^۲} = \frac{۲۰\,kg}{cm.s^۲} \left| \begin{array}{c|c|c|c} ۲/۲\ Lbm & ۱۰۰\,cm & ۰/۳\,m & (۶۰)^۲\,s^۲ \\ \hline ۱\,kg_{(۰/۲۵)} & ۱\,m_{(۰/۲۵)} & ۱ft_{(۰/۲۵)} & ۱^۲\,min^۲_{(۰/۵)} \end{array} \right.$$

$$= ۲۰ \times ۲/۲ \times ۱۰۰ \times ۶۰^۲ \times ۰/۳ = ۴۷۵۲ \times ۱۰^۳_{(۰/۲۵)}\ lbm/ft.min^۲_{(۰/۲۵)}$$

۴ــ صفر مطلق : پایین‌ترین دمایی که در آن جنبش مولکول‌ها به صفر می‌رسد و رسیدن به آن بسیار سخت و فرضی است. (۰/۵)

$-۲۷۳^{\circ}C$ (۰/۲۵) $= ۰k$ (۰/۲۵) $= -۴۶۰^{\circ}f$ (۰/۲۵) $= ۰^{\circ}R$ (۰/۲۵)

۵ــ

$\Delta T_C = ۹۰ - ۷۰ = ۲۰^{\circ}C$ (۰/۲۵)

$T_F = ۱/۸T_C + ۳۲$ (۰/۲۵)

$T_۱ = (۱/۸ \times ۷۰) + ۳۲ = ۱۵۸\ ^{\circ}F$ (۰/۲۵)

$T_۲ = (۱/۸ \times ۹۰) + ۳۲ = ۱۹۴\ ^{\circ}F$ (۰/۲۵)

$\Delta T_F = ۱۹۴ - ۱۵۸ = ۳۶\ ^{\circ}F$ (۰/۲۵)

$\frac{\Delta T_F}{\Delta T_C} = \frac{۳۶}{۲۰} = ۱/۸$ (۰/۵)

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

۶ــ بین نقطهٔ انجماد و نقطهٔ جوش مایع درون ترمومتر (۰/۷۵)

۷ــ صفر فارنهایت (۰/۲۵)، در محیطی از مخلوط یخ و کلرید آمونیم (۰/۵) به‌دست آمد و بالاترین نقطهٔ آن در جیوهٔ در حال جوش (۰/۵) (عدد ۶۸۰ (۰/۲۵) درجهٔ فارنهایت) انتخاب شد (دمای جوشش جیوه)

۸ــ فشار مطلق : مقیاس اندازه‌گیری فشار نسبت به خلأ کامل یا فشار صفر است. (۱)

فشار نسبی : مقیاس اندازه‌گیری فشار نسبت به فشار محیط و هم‌چنین اختلاف فشار مطلق و فشار محیط است. (۱)

۹ــ

$h = ۴۰cm$

$P_{Air} = ۱atm = ۷۶cm\ Hg$

این مسئله را می‌توان در سیستم CGS، برحسب دو واحد cm Hg یا $(dyne/cm^۲)$ ، به‌دست آورد :

الف) برحسب cmHg؛ آنچه از فشارسنج خوانده می‌شود فشارنسبی است، پس $P_R=۴۰\ cmHg$ و بنابراین :

$P_R=۴۰\ cmHg$ (۱)

$P_A=P_{Air}+P_R \Rightarrow P_A=۷۶cmHg+۴۰cmHg=۱۱۶cmHg$ (۱)

ب) برحسب $dyne/cm^۲$: در این‌صورت فشار نسبی به‌صورت فشار ستون جیوه به‌دست می‌آید، یعنی :

$P_R = \rho_{Hg}gh = ۱۳/۶g/cm^۳ \times ۹۸۰cm/s^۲ \times ۴۰cm$ (۱)

از جدول صفحهٔ (۱۶) : $P_{Air} = ۱atm = ۱/۰۱۳۲۵ \times ۱۰^۶\ dyne/cm^۲$

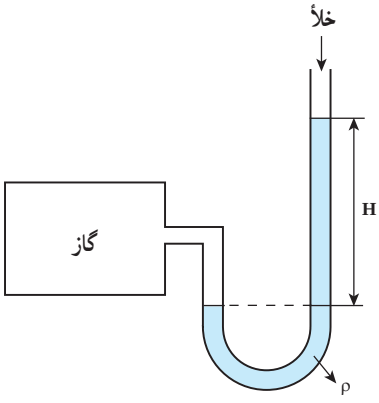
$P_A = P_{Air} + P_R \Rightarrow P_A = ۱/۰۱۳۲۵ \times ۱۰^۶\ dyne/cm^۲ + ۵۳۳۱۲۰dyne/cm^۲$

$= ۱۵۴۶۳۷۰dyne/cm^۲$ (۱)

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

۱۰ــ از فشارسنج مطلق یا مانومتر سربسته (۰/۵)

$P_{\text{گاز}} = \rho g H$ (۰/۵)



(۰/۷۵)

۱۱ــ

الف) اصلی (۰/۲۵) ــ فرعی (۰/۲۵)

ب) مشتق شده (۰/۲۵) ــ $(۳۲/۱۷۴ \frac{ft}{s^2})$ (۰/۵) $lbf = (lbm)$

ج) $۱۰^{-۹}$ (۰/۲۵)

د) $۹/۴۶۰۸ \times ۱۰^{۱۲}$ (۰/۲۵)

هـ) بیشتر (۰/۲۵) ــ کمتر (۰/۲۵)

و) پایین (۰/۲۵)

ز) هوای محیط اندازه‌گیری (۰/۲۵)

ح) Psia (۰/۲۵)

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

حل خودآزمایی صفحهٔ (۲۵) : توسط هنرجویان

۱ــ روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات را نام ببرید.

پاسخ : سه روش برای اندازه‌گیری جریان سیالات وجود دارد :

۱ــ روش جابه‌جایی مثبت (روش پیمانه‌ای یا مستقیم)

۲ــ روش انسداد جریان

۳ــ روش اثرات مقاومت سیال

۲ــ دبی حجمی و دبی جرمی را تعریف کنید.

پاسخ :

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

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

۳ــ $۴۰۰۰ kg/s$ آب با چگالی $۱۰۰۰ kg/m^3$ در یک خط لوله جریان دارد. دبی حجمی آب را پیدا کنید :

حل : از واحد مقدار سیال که kg/s است می‌توان فهمید دبی جرمی معین شده است. از رابطهٔ دبی جرمی و

دبی حجمی استفاده می‌شود :

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

$$Q=\frac{m^{\circ}}{\rho}=\frac{۴۰۰۰\,kg/s}{۱۰۰۰\,kg/m^{۳}}=۴\,m^{۳}/s$$

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

پاسخ :

الف ــ دقت ونتوری از اری فیس بیشتر است.

ب ــ ونتوری افت فشار کمتری ایجاد می‌کند.

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

د ــ ونتوری سیال بیشتری از خود عبور می‌دهد.

۵ــ چرا کاربرد لولهٔ شیشه‌ای برای روتامتر در فشارهای بالا صحیح نیست؟

زیرا احتمال شکستن لوله هست (در فشارهای بالا شناور به زائدهٔ بالا می‌چسبد و مقدار دبی مشخص نیست، به همین دلیل در این فشارها استفاده از روتامتر ممنوع است بدون توجه به جنس آن).

۶ــ شدت جریان (دبی) $۵۰\,m^{۳}/s$ **از یک خط لوله به قطر** $۱۲inch$ **جریان دارد. سرعت سیال را برحسب** m/s **پیدا کنید(تا ۰/۰۱تقریب محاسبه شود).**

حل : چون سرعت در سیستم SI خواسته شده است پس قطر باید تبدیل به واحد شود؛ با استفاده از جدول ۱ــ۳ در صفحهٔ (۶) کتاب :

$$D=\frac{۱۲\,\cancel{inch}\ \Big|\ ۱\,m}{۳۹/۳۷\,\cancel{inch}}\Rightarrow D=۰/۳۰m$$

حال با استفاده از رابطهٔ دبی‌حجمی در صفحهٔ (۲۴)،

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

$$A=\frac{\pi D^{۲}}{۴}=\frac{(۳/۱۴)(۰/۳m)^{۲}}{۴}=۰/۰۷m^{۲}$$

$$\Rightarrow V=\frac{۵۰\,m^{۳}/s}{۰/۰۷m^{۲}}=۷۱۴/۲۸\,m/s$$

راهنمای تدریس

ابتدا در خصوص چگونگی انجام هر روش، صحبت می‌کنیم، سپس با معرفی دستگاه‌هایی[1] که به آن روش کار می‌کنند. موارد مربوط به آنها را توضیح می‌دهیم، از جمله : اساس کار، ساختمان دستگاه، عملکرد، کاربرد و موارد متفرقه

۴ــ ۵ ــ ۱ــ روش جابجایی مثبت (پیمانه‌ای)

ــ در این روش، که به «توزین مستقیم» نیز معروف است، اندازه‌گیری دبی جرمی که فقط خاص مایعات غیرفرار است، از «توزین مضاعف[2]» استفاده می‌شود.

ــ 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.

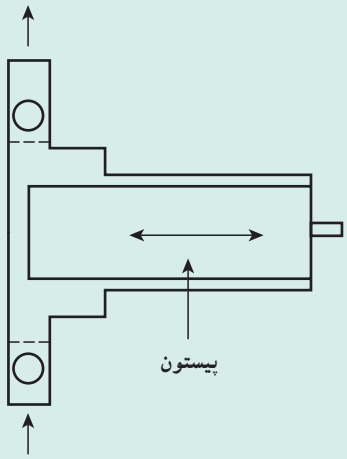
یکی از انواع این کنتورها، کنتور دیسکی است. در این کنتور، یک دیسک (صفحه) در مجرا نوسان می‌کند و در هر نوسان، حجم معینی آب از کنتور عبور می‌کند. تعداد نوسانات دیسک توسط یک دستگاه شمارنده، اندازه‌گیری می‌شود و توسط کنتور، حجم کل آب عبوری محاسبه می‌گردد و سپس نمایش داده می‌شود.

دانستنی (۴)[3]

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 این‌که حجم تخلیه شده در هر حرکت مشخص است، با شمارش تعداد حرکات در زمان مشخص، شدت جریان مایع به‌دست می‌آید. شکل ۴ــ۲ یک پمپ سنجشی پیستونی را نمایش می‌دهد.

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



شکل ۴ــ۲ــ پمپ اندازه گیرنده

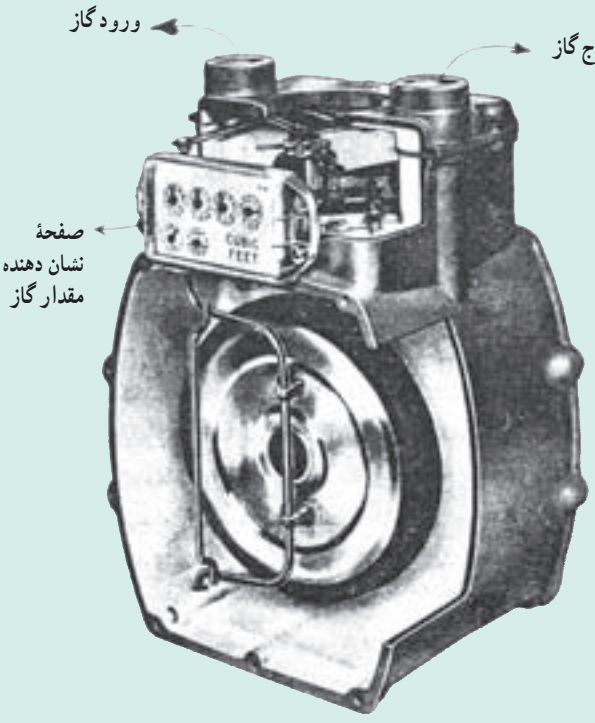
۱ــ در فصل چهارم کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی»، این دستگاه‌ها بررسی شده‌اند، ضمناً محاسبهٔ دبی، پس از انجام آزمایش با دستگاه‌های مربوطه، از روابط مختلف انجام می‌شود.

۲ــ محاسبهٔ دبی جرمی، در کارگاه عملیات دستگاهی انجام می‌شود، واضح است برای این آزمایش به یک ظرف، ترازو و کرونومتر نیاز است.

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

دانستنی (۵)[۱]

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 ۴ــ۳ گازسنجی مشاهده می‌شود که در آن دیافراگم ارتجاعی، عمل پیستون را در پمپ انجام می‌دهد.



شکل ۴ــ۳ــ گازسنج

۴ ــ ۵ــ ۲ــ روش انسداد جریان :

در روش انسداد جریان، دبی به طور غیر مستقیم اندازه‌گیری می‌شود. در این روش، برخلاف جابه‌جایی مثبت[۲]، جریان سنجی انجام می‌شود و وسایلی که به این روش کار می‌کنند، به نام «جریان سنج»[۳] معروف‌اند.

به دلیل رابطه‌ای که سرعت و فشار در معادلهٔ انرژی[۴] 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 لولهٔ پیتوت[۵] جهت تعیین سرعت و جریان‌سنج‌های 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[۶] میان دبی و افت فشار، دبی محاسبه می‌گردد.

ــ جهت افزایش بازده آموزشی، ابتدا اری فیس متر، سپس نازل و در انتها ونتوری متر توضیح داده شود. این ترتیب براساس تکامل شکل دستگاه‌ها، افزایش دقت و بازده آنهاست.

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

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

۳ــ Flow meter

۴ــ منظور «معادلهٔ برنولی» است که در قسمت‌های بعد توضیح داده می‌شود.

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

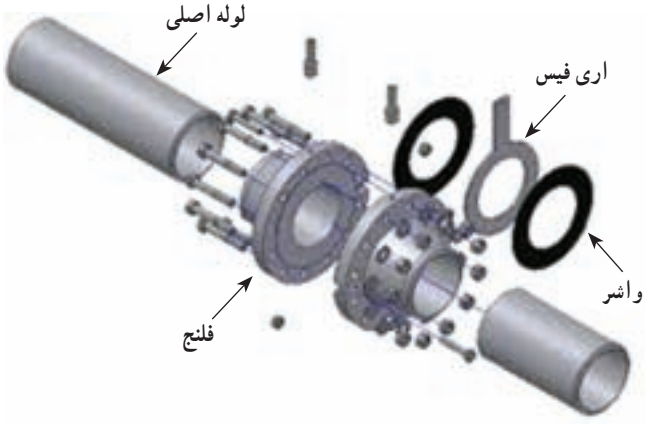
۶ــ هنرجویان در «کارگاه عملیات دستگاهی» با کاربرد این‌گونه «روابط تجربی»، در محاسبات آشنا می‌شوند. این روابط به طور کلی به صورت $Q = C\sqrt{\Delta P}$ مشاهده می‌شوند.

ــ تأکید بر این جملهٔ کلیدی، ضروری است :

«با کوچک شدن سطح مقطع، فشار سیال کاهش و سرعت آن افزایش می‌یابد.[1]»

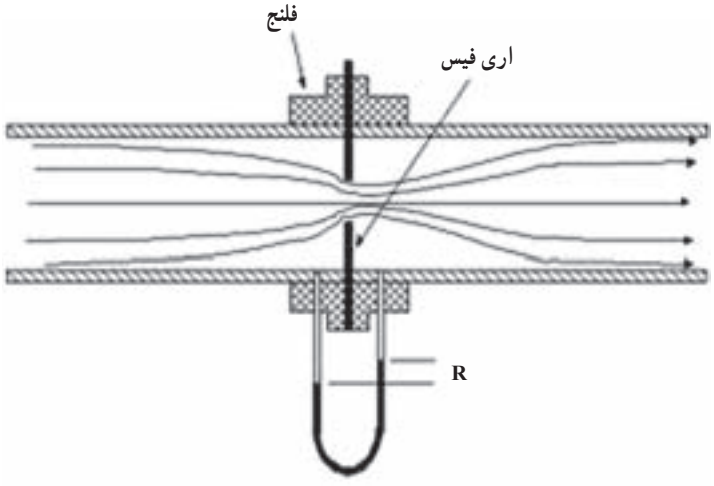
ــ سه جریان سنج به روش انسداد جریان، دبی را اندازه‌گیری می‌کنند که مختصراً در مورد هر کدام مطالبی بیان می‌شود :

۱ــ اری‌فیس‌متر : اری‌فیس‌ها، صفحات مدوری هستند معمولاً از جنس فولاد ضد زنگ که روی آنها سوراخی وجود دارد و افت فشار در همین روزنه به‌وجود می‌آید. جهت نصب اری‌فیس در لوله، آن را میان دو فلنج و بین دو لایهٔ غیر فلزی (به‌صورت واشر برای آب‌بندی همراه با گریس) قرار می‌دهند، به‌طوری که روزنه در محل مناسبی در مقطع لولهٔ اصلی قرار بگیرد و بعد با پیچ و مهره، فلنج‌ها را محکم می‌بندند. در شکل ۴ــ۴ اجزای مذکور مشاهده می‌شوند.



شکل ۴ــ۴ــ اجزای لازم جهت نصب اری فیس

شکل ۴ــ۵، یک اری‌فیس‌متر را نشان می‌دهد. هم‌چنان که مشاهده می‌شود شاخه‌های مانومتر دیفرانسیلی به‌ترتیب قبل از روزنه (ناحیهٔ فشار بالا) و بعد از روزنه (ناحیهٔ فشار پایین) نصب می‌شوند و مقدار (R)، افت فشار موقت را مشخص می‌کند.



شکل ۴ــ۵ــ اری فیس متر

بعد از روزنه، مقطع عبور برای سیال افزایش می‌یابد و در نتیجه فشارش بالا می‌رود ولی هیچ زمان به اندازهٔ 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 ۴ــ۶ این دو کمیت مهم با توجه به ارتفاع مایع درون پیزومترها، قابل اندازه‌گیری هستند. بر این اساس؛ افت فشار موقت و دائم با فرض

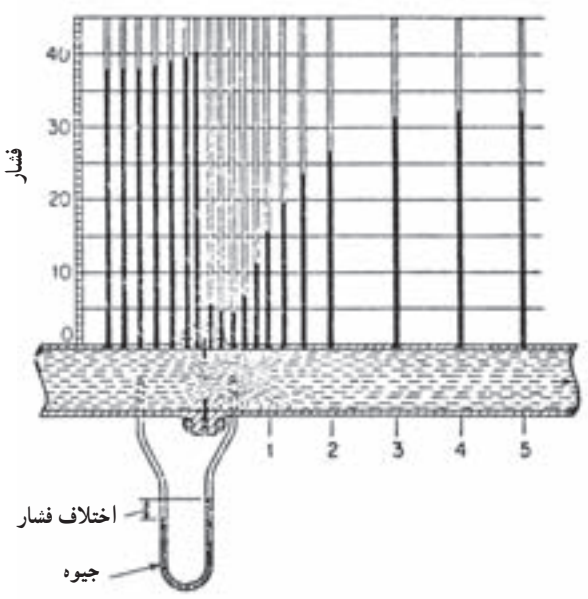
۱ــ کاهش فشار به دلیل کاهش مقدار سیال عبوری است و افزایش سرعت را می‌توان در پاسخ به این سؤال جست‌وجو کرد؛ چرا موقع آب دادن گل‌ها، انگشت خود را بر دهانهٔ شلنگ می‌گذارند؟ در این حالت مقدار آب کم می‌شود ولی در عوض، آب می‌تواند مسافت بیشتری را طی کند و فاصلهٔ دورتر را نیز سیراب کند که به معنی افزایش سرعت 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 $Q_1 = Q_2 \Rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2$

این‌که سیال، آب باشد به صورت زیر محاسبه می‌شود :

افت فشار موقت = ۳۷ − ۱۵ = ۱۲ cmH_2o

افت فشار دائم = ۳۷ − ۳۲ = ۵ cmH_2o

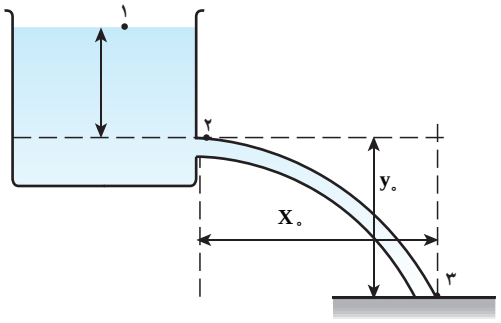
در میان جریان سنج‌های روش انسداد جریان، اری‌فیس بیشترین افت فشار دائم را ایجاد می‌کند و این از معایب[1] اری‌فیس متر است.



شکل ۴ــ۶ــ افت فشار در اثر قرار دادن اری‌فیس در مسیر جریان

یکی دیگر از کاربردهای رایج اری فیس، اندازه‌گیری دبی خروجی از یک مخزن است. (مانند شکل ۴ــ۷)

در اری فیس متر، دبی سیال از روابط تجربی محاسبه می‌گردد[2].



شکل ۴ــ۷ــ اری فیس در دیوارهٔ مخزن

دانستنی (۶)

درمورد «اری فیس متر» بیشتر بدانیم :

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

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

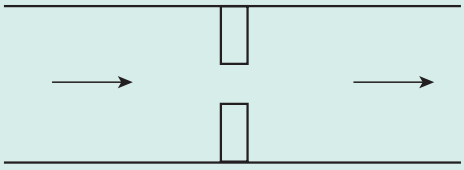
۲ــ نمونهٔ این روابط به شرح زیر است :

$$Q = CA_0\sqrt{2gR\left(\frac{S_0}{S_1}-1\right)}$$

$$Q = CA_0\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

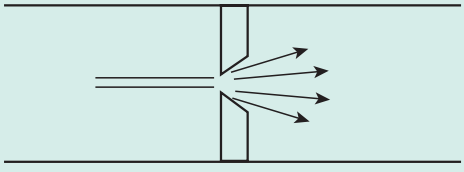
این روابط که از معادلهٔ برنولی به‌دست آمده‌اند، در کارگاه عملیات دستگاهی، جهت محاسبه دبی کاربرد دارند. گفتنی است در این خصوص آزمایش‌هایی نیز انجام می‌شود.

۱ــ اری فیس لبه مربعی؛ که ارزان‌ترین نوع است و برای سیالات چند فازی، به علت مسدود شدن، توصیه نمی‌شود، شکل ۴ــ۸ برشی از یک اری‌فیس لبه مربعی را نشان می‌دهد.



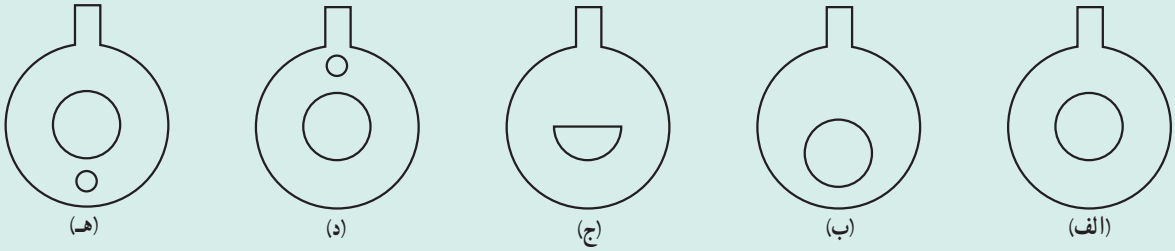
شکل ۴ــ۸

۲ــ 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 ۴ــ۹ این نوع اری فیس را نمایش می‌دهد.



شکل ۴ــ۹

در هر دو طرح باید به این نکته توجه شود که لبهٔ 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 صفحهٔ اری فیس طراحی‌های مختلف داشته باشد (مانند شکل ۴ــ۱۰).



شکل ۴ــ۱۰ــ 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.) هـ) اری فیس دو سوراخه (برای گازهایی که در زیر آنها رسوب مایع است.)

نازل[1] (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 ۴ــ۱۱)

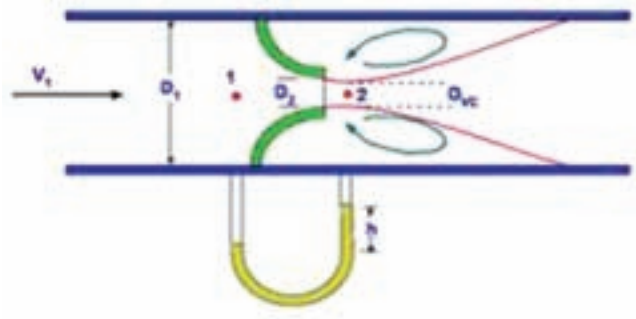
شکل ۴ــ۱۱ــ نازل

سیال در دهانهٔ نازل، دچار افت فشار می‌شود که با یک مانومتر دیفرانسیلی قابل اندازه‌گیری است. (مانند شکل ۴ــ۱۲)

۱ــ Nozzle

چنانکه در شکل ۴ــ۱۲ دیده می‌شود نقطهٔ (۱) و (۲) به‌ترتیب ناحیهٔ فشار بالا [۱] و پایین[۲] در لوله هستند که محل نصب مانومترند و معادلهٔ انرژی[۳] بین این دو نقطه نوشته می‌شود که از آن دبی محاسبه می‌گردد.

از خاصیت افزایش سرعت در دهانهٔ نازل، جهت ورود یا خروج مایعات و گازها از لوله‌ها[۴] و مخازن[۵] استفاده می‌کنند. در شکل‌های ۴ــ۱۳ و ۴ــ۱۴ نمونه‌هایی از این وسایل مشاهده می‌شوند.



شکل ۴ــ۱۲

شکل ۴ــ۱۳ــ نازل‌های ورودی یا خروجی

شکل ۴ــ۱۴ــ نازل‌های خروجی یا ورودی

راهنمای تدریس

لولهٔ ونتوری متر[۶]

ونتوری متر نیز براساس روش انسداد جریان کار می‌کند. در شکل ۴ــ۱۵ یک ونتوری متر صنعتی نشان داده شده است.

شکل ۴ــ۱۵ــ ونتوری

۱ــ High Pressure (HP)

۲ــ Low Pressure (LP)

۳ــ منظور «معادلهٔ برنولی» است که براساس آن رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$Q = CA_2\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

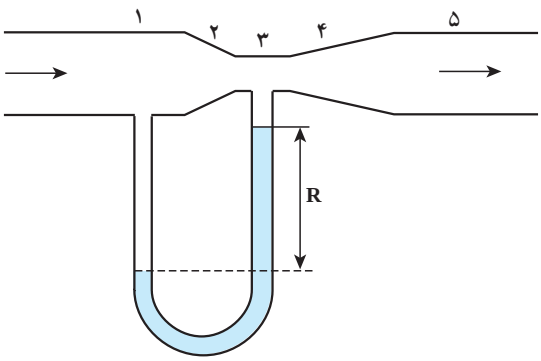
این رابطه در کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی» فصل چهارم، معرفی شده است.

۴ــ 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 (به‌صورت توزیع کننده)

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

۶ــ Venturimeter tube

اجزای ساختمانی یک لولهٔ ونتوری براساس شکل ۴ـ۱۶ عبارتند از :



شکل ۴ـ۱۶ـ لولهٔ ونتوری

۱ـ مدخل ورودی ونتوری که به‌صورت یک استوانهٔ کوتاه است. قطر این قسمت برابر قطر لوله‌ای است که لولهٔ ونتوری در آن قرار می‌گیرد. یکی از شاخه‌های مانومتر دیفرانسیلی یا پیزومتر در این ناحیه، که فشار بالا است، نصب می‌شود.

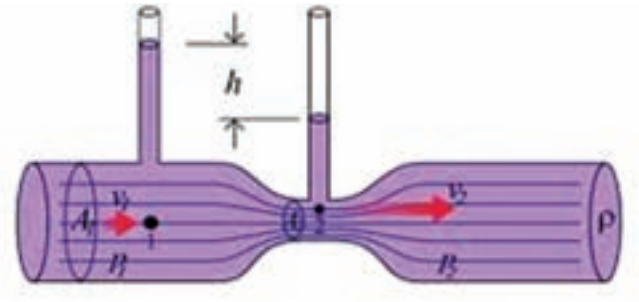
۲ـ قسمت مخروطی هم‌گرا

۳ـ گلوگاه ونتوری که یک استوانهٔ کوتاه است و افت فشار موقت در این ناحیه اتفاق می‌افتد. دراین ناحیه، شاخهٔ دیگر مانومتر متصل می‌شود (ناحیهٔ فشار کم).

۴ـ قسمت مخروطی واگرا

۵ـ مدخل خروجی ونتوری که یک استوانهٔ کوتاه است و قطر آن برابر قطر لولهٔ اصلی است.

در لولهٔ ونتوری از ابتدا تا گلوگاه، سطح مقطع برای عبور جریان کوچک می‌شود تا در گلوگاه به حداقل می‌رسد. در گلوگاه افت فشار به بالاترین حد خود می‌رسد، که قابل اندازه‌گیری است. بعد از گلوگاه تا مدخل خروجی، سطح مقطع دوباره افزایش می‌یابد و فشار نیز بیشتر می‌شود ولی هرگز به فشار در مدخل ورودی نمی‌رسد و به این ترتیب سیال دچار افت فشار دائم می‌شود.



شکل ۴ـ۱۷ـ ونتوری متر

با خواندن اختلاف سطح مایع (جیوه) در مانومتر دیفرانسیلی و مایع مورد نظر در پیزومترها (مطابق شکل ۴ـ۱۷) و استفاده از رابطهٔ فیزیکی بین افت فشار و دبی، دبی سیال محاسبه می‌شود.

دانستنی (۷)

بیشتر در مورد ونتوری متر بدانیم :

اندازهٔ ونتوری با قطر لوله و گلوگاه آن مشخص می‌شود، مثلاً اگر قطر لوله ۸ سانتی‌متر و قطر گلوگاه ۶ سانتی‌متر باشد اندازهٔ این ونتوری متر به این صورت بیان می‌شود :

ونتوری ۸ در ۶ سانتی‌متر

برای این‌که نتایج حاصل از اندازه‌گیری 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 سنج‌های انسداد جریان، که برای نازل واری‌فیس و ونتوری به‌ترتیب در صفحات قبل به‌صورت پاورقی ارائه شد از «معادلهٔ برنولی» به‌دست آمده‌اند[۱].

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

۴ــ۵ــ۳ــ مقایسهٔ 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 :

۱ــ 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_0) و این باعث خطا می‌شود.

ب) روزنهٔ اری فیس حکم گلوگاه را دارد و افت فشار موقت دقیقاً در آن جا اتفاق می‌افتد و برای اندازه‌گیری آن نمی‌توان شاخهٔ سمت راست مانومتر را در روزنه قرار داد و این نیز موجب خطاست.

۲ــ از نظر افت فشار دائم تولیدی؛ اری فیس افت فشار دائم بیشتری تولید می‌کند. حدود ۵۰٪ افت فشار موقت را به‌صورت دائم در سیال حفظ می‌کند.

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

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

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

۶ــ از نظر کاربرد؛ این دو وسیله هر کدام محدودیت‌هایی دارند. به این صورت که از اری فیس، به‌علت تولید افت فشار دائم زیاد، برای اندازه‌گیری دبی سیالات کم فشار استفاده نمی‌کنند و ونتوری را، به‌علت بلند بودن طول لوله‌اش، در لوله‌های کوتاه به‌کار نمی‌برند.

در یک مقایسه، از نظر افت فشار تولیدی، نتیجهٔ زیر به‌دست می‌آید :

ونتوری < نازل < اری فیس

این ترتیب از نظر هزینه برعکس است.

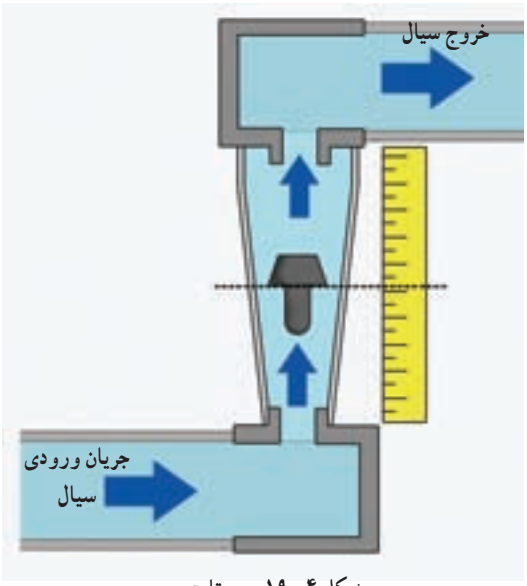
۴ــ۵ــ۴ــ روش اثرات مقاومت سیال :

این روش براساس تعادل نیروهای وارده بر یک جسم غوطه‌ور در سیالات، تعریف می‌شود. جریان سنجی که به این روش کار می‌کند، «روتامتر[1]» نام دارد. نمونه‌هایی از روتامترها در شکل ۴ــ۱۸ مشاهده می‌شود. روتامتر، تشکیل شده از یک لولهٔ قائم مخروطی واگرا که در آن یک جسم به نام شناور[2] یا شاقول وجود دارد. جنس شناور طوری انتخاب می‌شود که وزن مخصوص آن کمی بیشتر از سیال عبوری باشد.

شکل ۴ــ۱۸ــ روتامترهای صنعتی

۱ــ Rotameter

۲ــ Float

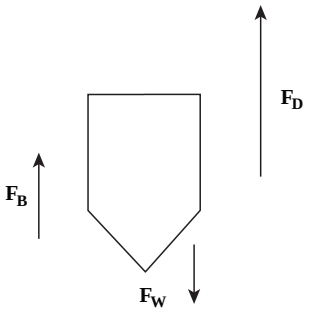


شکل ۴ــ۱۹ــ روتامتر

وقتی سیالی از روتامتر عبور نمی‌کند، شناور در پایین‌ترین نقطهٔ روتامتر (ناحیهٔ فشار بالا) قرار می‌گیرد. سیال از پایین وارد روتامتر می‌شود و متناسب با دبی و فشارش، شناور را به سمت بالا حرکت می‌دهد. لولهٔ روتامتر شفاف است و برحسب دبی مدرج شده است. مقدار دبی سیال در محل توقف شناور قرائت می‌شود مانند شکل ۴ــ۱۹ که عملکرد یک روتامتر را نشان می‌دهد.

در صورتی‌که سیال تیره باشد، به‌طوری که مکان شناور مشخص نباشد،روتامتر را از قسمت پشت، با چراغی روشن می‌کنند و شناور را با یک مادهٔ فلورسانس می‌پوشانند تا عمل خواندن مقدار جریان را سهل‌تر سازد.

در روتامتر، سطح مقطع عبور جریان از پایین به بالا افزایش می‌یابد[۱]، در نتیجه افت فشار در طول روتامتر 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 روتامتر متوقف می‌شود. جهت بررسی عملکرد روتامتر، به شکل ۴ــ۲۰ توجه شود.



شکل ۴ــ۲۰

نیروهای وارده بر شناور عبارت‌اند از :

۱ــ نیروی وزن شناور (F_W)[۲]

۲ــ نیروی بالابرنده سیال (F_D) ناشی از سرعت و دبی سیال

۳ــ نیروی شناوری یا ارشمیدس[۳] (F_B)

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

$$F_D + F_B - F_W = 0$$

در طول روتامتر، نیروی وزن تغییر چندانی نمی‌کند . در صورت ثابت ماندن دما (چگالی و حجم تابع دما هستند) نیروی شناوری نیز ثابت می‌ماند، پس می‌توان رابطهٔ 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؛

۱ــ حرکت رو به بالای سیال

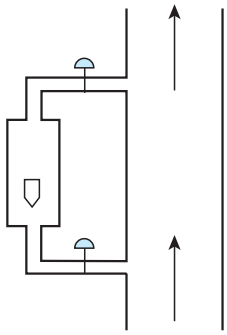
۱ــ در بعضی منابع روتامتر را در واقع «جریان سنج با سطح مقطع متغیر» دانسته‌اند.

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

۳ــ **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 : ρ= چگالی سیال، v= حجم سیال جابه‌جا شده، g = شتاب جاذبه

۲ــ 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 وسیلهٔ اندازه‌گیری دبی حجمی مایعات و گازهاست، که برای نمایش بصری دبی سیال استفاده می‌شود. بدنهٔ روتامتر با استفاده از روابط تجربی دبی[1]، برحسب دبی مدرج شده است. گسترهٔ 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 ۴ــ۲۱

به دو دلیل ممکن است روتامترها را خارج از مسیر اصلی جریان سیال نصب کنند :

۱ــ اگر اختلالی در کار روتامتر پیش بیاید، بدون ایجاد وقفه در جریان سیال، روتامتر تعویض می‌گردد. شکل ۴ــ۲۱ این طریق نصب روتامتر را نشان می‌دهد.

۲ــ اگر مقدار جریان سیال خارج از دامنهٔ 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.

۴ــ۶ــ روش اندازه‌گیری دبی به وسیلهٔ سرعت سیال

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

در این بخش تأکید برجملهٔ کلیدی زیر ضروری است :

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

۱ــ دبی حجمی جریان در روتامتر توسط رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

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

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، ρ_f چگالی شناور، ρ چگالی سیال و h_f ارتفاع شناور است.

سؤالات پیشنهادی برای طرح آزمون

الف) تعاریف

۱ــ دبی حجمی را تعریف کنید و براساس آن رابطه‌ای برای دبی حجمی بنویسید.

۲ــ دبی جرمی را تعریف کنید و رابطهٔ محاسبه آن را براساس تعریفش بنویسید.

۳ــ عوامل تعیین کنندهٔ روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات را بنویسید.

۴ــ روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات را نام ببرید و برای هر یک دستگاهی را مثال بزنید.

۵ــ روش جابه‌جایی مثبت را تعریف کنید و بگویید چه دستگاهی به این روش کار می‌کند؟

۶ــ کنتور آب منازل به چه روشی کار می‌کند؟ اساس کار آن به چه شکلی است؟

۷ــ روش انسداد جریان را تعریف کنید و دستگاه‌هایی را که به این روش کار می‌کنند، نام ببرید.

۸ــ لولهٔ ونتوری را رسم کنید و قسمت‌های مختلف آن را روی شکل نشان دهید.

۹ــ اری فیس متر چیست؟ به چه روشی کار می‌کند؟ افت فشار در کدام قسمت اری فیس اتفاق می‌افتد؟

۱۰ــ توضیح دهید که چگونه دبی یک سیال با یک نازل اندازه‌گیری می‌شود؟

۱۱ــ آیا دستگاه‌هایی که به روش انسداد جریان کار می‌کنند، مستقیماً دبی سیال را اندازه می‌گیرند؟ توضیح دهید.

۱۲ــ اری فیس و ونتوری را مقایسه کنید.

۱۳ــ روتامتر به چه روشی کار می‌کند؟ ساختمان آن و عملکرد آن را توضیح دهید.

۱۴ــ در چه مواردی استفاده از روتامتر ممنوع است؟

۱۵ــ اگر دبی سیال عبوری ثابت باشد، رابطهٔ 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 :

۱ــ روتامتر به روش ..... کار می‌کند.

۲ــ محل قرار گرفتن شناور در روتامتر به ..... بستگی دارد.

۳ــ افت فشار در روتامترها ..... است.

۴ــ میزان افت فشار در روتامترها بستگی به ..... آن دارد.

۵ــ در دبی ثابت، سطح مقطع و سرعت سیال با هم رابطه ..... دارند.

۶ــ با نصب اری فیس سر راه سیال، افت فشار در ..... اتفاق می‌افتد.

۷ــ برای مشاهدهٔ افت فشار و اندازه‌گیری آن در لولهٔ ونتوری از ..... استفاده می‌شود.

۸ــ با نصب ونتوری سر راه سیال، افت فشار در ..... اتفاق می‌افتد.

۹ــ لولهٔ ونتوری دارای یک مدخل ورودی و خروجی معادل ..... لولهٔ جریان است.

۱۰ــ دقت اندازه‌گیری ونتوری نسبت به اری فیس ..... است.

۱۱ــ افت فشار دائم تولیدی توسط ونتوری نسبت به اری فیس ..... است.

۱۲ــ برای لوله‌های کوتاه از ..... استفاده نمی‌شود.

۱۳ــ برای سیالات با فشار کم از ..... استفاده نمی‌شود.

۱۴ــ هزینهٔ نصب و نگهداری ونتوری از اری فیس .....است.

۱۵ــ 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 :

۱ــ $۲۰۰۰\,Lit/min$ مایعی با چگالی $۰/۷۵\,gr/cm^۳$ از لوله‌ای به قطر $۰/۲\,m$ می‌گذرد. دبی جرمی مایع را در سیستم CGS به‌دست آورید.

حل : اطلاعات مسئله عبارت‌اند از :

$$Q = ۲۰۰۰\,L/min$$

$$\rho = ۰/۷۵\,gr/cm^۳ \quad , D = ۰/۲\,m$$

$$m^{\circ} = ?$$

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

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

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

$$Q = \frac{۲۰۰۰\,\not{L}}{min} \left| \frac{۱۰^۳\,cm^۳}{۱\,\not{L}} \right. = ۲\times۱۰^۶\,cm^۳/min$$

$$m^{\circ} = ۰/۷۵\,gr/cm^۳ \times ۲\times۱۰^۶\,cm^۳/min = ۱/۵\times۱۰^۶\,gr/min$$

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

۲ــ سیالی با سرعت $۲۰\,m/s$ از لوله‌ای به قطر $۰/۲\,m$ می‌گذرد. اگر چگالی سیال $۱۰۰۰\,kg/m^۳$ باشد، دبی حجمی و دبی جرمی سیال را محاسبه کنید.

حل :

$$\begin{cases} V = ۲۰\,m/s \quad , D = ۰/۲m \quad , \quad \rho = ۱۰۰۰\,kg/m^۳ \\ Q = ? \qquad\qquad m^{\circ} = ? \end{cases}$$

$$Q = VA$$

$$A = \frac{\pi D^۲}{۴} = \frac{۳/۱۴\times۰/۲^۲}{۴} = ۰/۰۳۱۴\,m^۲$$

$$Q = ۲۰\,m/s \times ۰/۰۳۱۴\,m^۲ = ۰/۶۲۸\,m^۳/s$$

$$m^{\circ} = \rho Q \Rightarrow m^{\circ} = ۱۰۰۰ kg/m^{۳} \times ۰/۶۲۸ m^{۳}/s = ۶۲۸ kg/s$$

۳ــ مقدار cc ۱۰۰ آب را در مدت ۱۰ ثانیه جمع آوری کرده‌ایم. دبی آب چه‌قدر است؟

حل :

$$V = ۱۰۰ cc \ (\text{یا } cm^{۳} \text{ یا } mL) \quad , \quad t = ۱۰ s$$

$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow Q = \frac{۱۰۰ cm^{۳}}{۱۰ s} = ۱۰ \ cm^{۳}/s$$

۴ــ مساحت کف یک مخزن به شکل مکعب مستطیل $۸ m^{۲}$ است. با ورود جریان دائمی مایع به مدت ۱۲ دقیقه، عمق مایع در مخزن $۱/۳ m$ افزایش می‌یابد. دبی جریان را برحسب لیتر بر ثانیه به‌دست آورید.

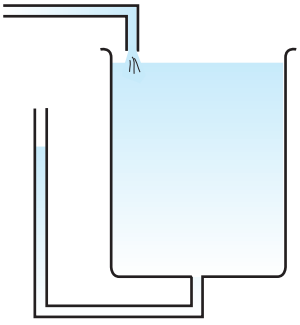
حل :

نکته : روش محاسبهٔ دبی، جابه‌جایی مثبت است که در بعضی از کارگاه‌های عملیات دستگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این صورت که در کنار مخزن، از نمایشگر سطح مایع استفاده می‌شود و زمان افزایش ارتفاع مایع در مخزن را با کرونومتر اندازه می‌گیرند. سپس حجم مایع جابه‌جا شده در واحد زمان به صورت زیر به‌دست می‌آید :

افزایش ارتفاع مخزن × سطح مقطع مخزن = حجم مایع جابه‌جا شده

$$\Rightarrow \text{حجم مایع جابه‌جا شده} = ۸ m^{۲} \times ۱/۳ m = ۱۰/۴ m^{۳}$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{۱۰/۴ \cancel{m^{۳}} \ | \ ۱۰^{۳} L \ | \ ۱ \cancel{min}}{۱۲ \cancel{min} \ | \ ۱ \cancel{m^{۳}} \ | \ ۶۰ s} = ۱۴/۴۴ L/s$$



شکل ۴ــ۲۲

نکته : این مسئله از راه محاسبهٔ سرعت نیز به‌صورت زیر قابل حل است :

$$V = \frac{L}{t} = \frac{۱/۳ m \ | \ ۱ \cancel{min}}{۱۲ \cancel{min} \ | \ ۶۰ s} = ۱/۸ \times ۱۰^{-۳} m/s$$

$$Q = VA = ۱/۸ \times ۱۰^{-۳} m/s \times ۸ m^{۲} = ۱۴/۴۴ \times ۱۰^{-۳} m^{۳}/s$$

$$Q = \frac{۱۴/۴۴ \times ۱۰^{-۳} \cancel{m^{۳}} \ | \ ۱۰^{۳} L}{s \ | \ ۱ \cancel{m^{۳}}} = ۱۴/۴۴ L/s$$