

### دستگاه‌های اندازه‌گیری جریان سیالات

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

- ۱- مفهوم شدت جریان سیال را توضیح دهد.
- ۲- وسایل اندازه‌گیری جریان را بشناسد.
- ۳- میزان شدت جریان را در وسایل مختلف محاسبه نماید.
- ۴- مفاهیم جریان آرام و آشفته را توضیح دهد.

#### ۱-۴- مقدمه

شدت جریان (دبی)<sup>۱</sup>:

مقداری از سیال که در واحد زمان از یک سطح مقطع عبور کند دبی (شدت جریان) نام دارد. اندازه‌گیری دبی جریان، بسیار حائز اهمیت بوده، کاربرد آن از اندازه‌گیری دبی خون در رگ‌های انسان تا اندازه‌گیری دبی اکسیژن مایع در موشک گسترده است. بسیاری از پروژه‌های تحقیقاتی و فرآیندهای صنعتی برای داده‌های مهم، به اندازه‌گیری دبی جریان وابسته هستند. در انتخاب وسیله‌ی اندازه‌گیری مناسب، عوامل بسیاری از جمله هزینه دخالت دارند. در بسیاری از بهره‌برداریهای صنعتی دقت اندازه‌گیری دبی مستقیماً با سود و زیان در ارتباط است. برای مثال می‌توان از پمپ‌های بنزین موجود در جایگاه فروش بنزین نام برد. نمونه‌ی دیگر کنتور آب منازل است. به سهولت می‌توان دریافت که هر خطای کوچک در اندازه‌گیری جریان گاز طبیعی یا نفت در خط لوله، در یک مدت زمان معین، معادل هزارها دلار است. دبی هم برحسب واحدهای مختلف حجم بیان می‌شود و هم برحسب واحدهای جرم، تعریف می‌شود.

#### ۲-۴- روش‌های اندازه‌گیری شدت جریان (دبی)

##### ۱-۲-۴- روش جابه‌جایی مثبت<sup>۲</sup>

دبی یک مایع غیر فرار نظیر آب را می‌توان با روش توزین مستقیم به دست آورد.

<sup>۱</sup> - Flow rate

<sup>۲</sup> - Positive Displacement

زمان لازم برای جمع‌آوری مقدار معینی مایع در یک ظرف را اندازه گرفته سپس مایع جمع‌آوری شده را به‌طور دقیق وزن می‌کنند و از آن جا دبی میانگین به سهولت محاسبه می‌شود.

### ۲-۲-۴ روش انسداد جریان<sup>۱</sup>

در این روش با استفاده از وسایلی که در مسیر جریان قرار می‌دهند با ایجاد اختلاف فشار، میزان دبی اندازه‌گیری می‌شود. دستگاه‌هایی که بدین منظور کاربرد دارند، عبارت‌اند از:

۱- ونتوری مترها

۲- اری فیس مترها

۳- شیپوره‌ها (نازل‌ها)

الف - ونتوری متر<sup>۲</sup>:

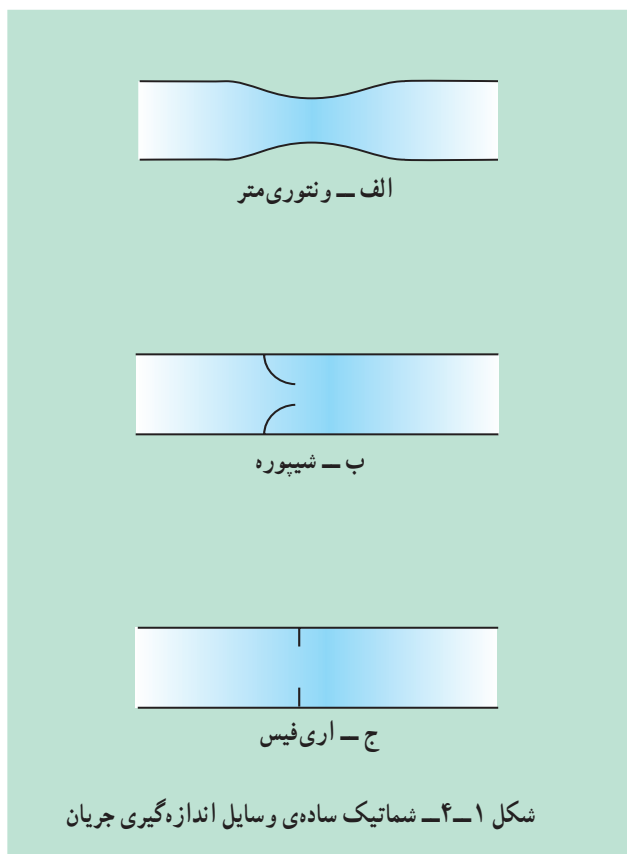
ونتوری متر برای اندازه‌گیری دبی در لوله‌ها به کار برده می‌شود. این وسیله متشکل

از این بخش‌هاست:

۱- بخش بالادست جریان که قطر آن برابر قطر لوله است.

۲- یک قسمت مخروطی همگرا.

۳- یک گلوگاه استوانه‌ای.

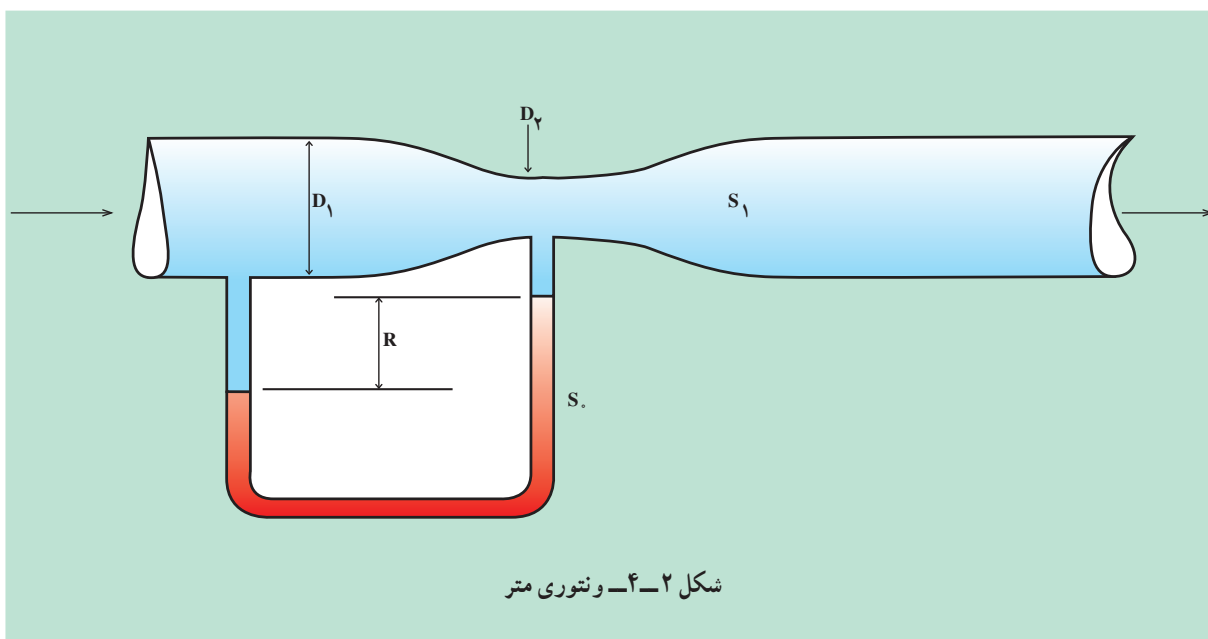


شکل ۱-۴- شماتیک ساده‌ی وسایل اندازه‌گیری جریان

۴- یک قسمت مخروطی با واگرایی تدریجی که نهایتاً اندازه‌ی آن برابر قطر لوله می‌شود.

۵- بخش پایین دست جریان که قطر آن برابر قطر لوله است.

۶- یک مانومتر دیفرانسیلی که سر آن به بخش بالا دست و یک سر آن به گلوگاه متصل است. اندازه‌ی ونتوری متر با قطر لوله و گلوگاه آن مشخص می‌شود؛ برای مثال، ونتوری متر ۶ در ۴ سانتی‌متر، یعنی قطر لوله ۶ سانتی‌متر و قطر گلوگاه ونتوری متر ۴ سانتی‌متر است. برای به دست آوردن نتیجه‌ی دقیق، باید طول ونتوری متر حداقل ده برابر قطر لوله باشد. در شکل ۲-۴ یک ونتوری متر را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲-۴- ونتوری متر

## مطالعه‌ی آزاد

— اندازه‌گیری جریان به وسیله‌ی ونتوری متر:

با استفاده از این فرمول، میزان دبی به وسیله‌ی ونتوری متر به دست می‌آید:

$$Q = C \cdot A_r \sqrt{\frac{2gR((S_0 / S_1) - 1)}{1 - (D_r / D_1)^4}} \quad (1)$$

در این معادله هر پارامتر چنین تعریف می‌شود:

$$Q = \text{دبی، شدت جریان، } m^3/s$$

$$C * = \text{ضریب انقباض ونتوری متر}$$

$$R ** = \text{اختلاف سطح هیدرولیکی (m)}$$

$$S_0 = \text{چگالی نسبی مایع درون مانومتر}$$

$$S_1 = \text{چگالی نسبی سیال درون لوله}$$

$$A_r = \text{سطح مقطع گلوگاه، } m^2$$

$$D_r = \text{قطر گلوگاه، } m$$

$$D_1 = \text{قطر لوله، } m$$

---

\* C: مایع در برخورد با گلوگاه ونتوری منقبض می‌شود؛ به همین منظور بسته به جنس و نوع گلوگاه این

ضریب تعریف می‌شود.

\*\* R: اختلاف بین سطح مایع در مانومتر را گویند.

### ب - اندازه‌گیری جریان به وسیله‌ی نازل<sup>۱</sup>:

نازل جریان - مطابق شکل ۳-۴ - جهت اندازه‌گیری دبی استفاده می‌شود. درون نازل‌ها هیچ گونه انقباض، جز در دهانه‌ی نازل، وجود ندارد. برای یک لوله‌ی افقی چنانچه یک نازل جریان در مسیر جریان قرار گرفته باشد، دبی براساس این رابطه به دست می‌آید:

#### مطالعه‌ی آزاد

$$Q = C A_v \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2)$$

در این رابطه، پارامترها عبارت‌اند از:

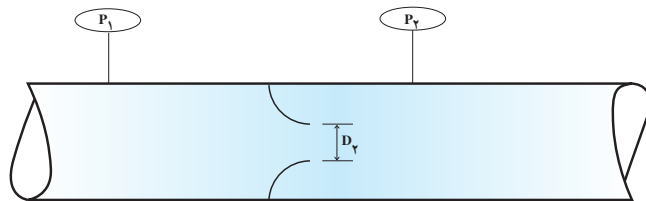
$$Q = \text{دبی جریان, } m^3/s$$

$$C * = \text{ضریب انقباض نازل}$$

$$A_v = \text{سطح مقطع نازل, } m^2$$

$$\Delta P = \text{اختلاف فشار دو سر نازل, Pa}$$

$$\rho = \text{چگالی سیال, } kg/m^3$$



شکل ۳-۴ - نازل جریان

\* C : در برخورد با دهانه‌ی نازل انقباض سیال صورت می‌پذیرد.

### ج - اندازه‌گیری جریان به وسیله‌ی اری فیس متر<sup>۲</sup>:

اری فیس‌ها صفحات مدورّی هستند که روی آن‌ها سوراخی تعبیه شده است. همانند نازل‌ها این سوراخ به صورت گلوگاه است که سبب اختلاف فشار دوسر آن خواهد شد. در شکل ۴-۴ یک اری فیس متر نشان داده شده است. جنس اری فیس از فولاد زنگ نزن<sup>۳</sup> است.

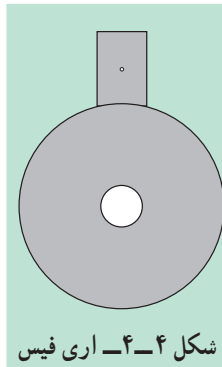
۱- Nozzle

۲- Orificemeter

۳- Stainless Steel (316)

صفحه‌های اری فیس را میان دو فلنج مخصوص اری فیس‌ها و بین دو لایه‌ی غیرفلزی<sup>۱</sup> قرار می‌دهند؛ به گونه‌ای که سوراخ آن کاملاً در مرکز مقطع لوله‌ی اصلی قرار گیرد و به وسیله‌ی پیچ و مهره فلنج‌ها را محکم می‌بندند. در دو طرف اری فیس و در محل برجستگی فلنج‌ها، سوراخ‌هایی تعبیه و به مانومتر متصل می‌شود تا اختلاف فشار هیدرولیکی خوانده شود.

برای محاسبه‌ی دبی از این فرمول استفاده شود:



### مطالعه‌ی آزاد

$$Q = C A \cdot \sqrt{2gR \left( \frac{S_0}{S} - 1 \right)} \quad (3)$$

بر این اساس:

$Q =$  دبی، شدت جریان سیال،  $m^3/s$ .

$C =$  ضریب تخلیه‌ی اری فیس

$R =$  اختلاف سطح هیدرولیکی

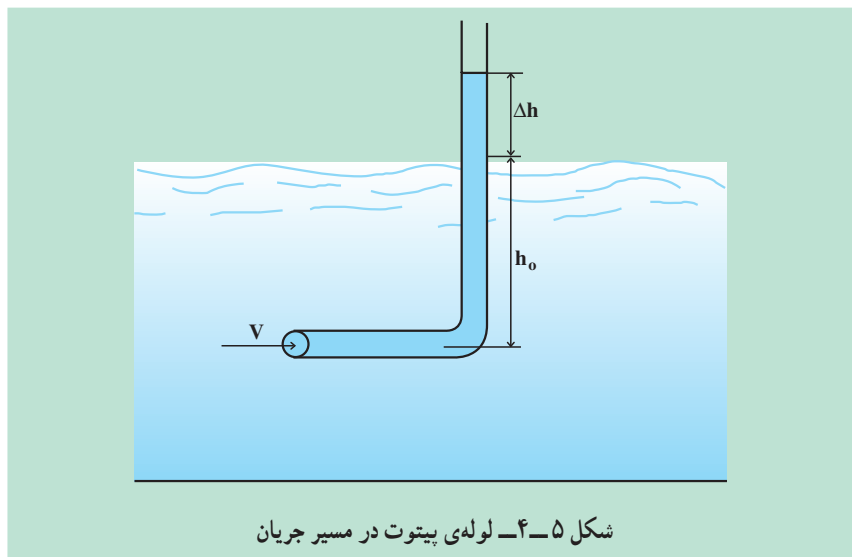
$S_0 =$  چگالی نسبی مایع مانومتر

$S_1 =$  چگالی نسبی سیال لوله

$A =$  سطح مقطع سوراخ اری فیس،  $m^2$ .

### ۳-۲-۴ اندازه‌گیری دبی به وسیله لوله پیتوت

استفاده از لوله پیتوت یکی از دقیق‌ترین روش‌های اندازه‌گیری سرعت می‌باشد. در شکل ۴-۵ یک لوله شیشه‌ای که با زاویه  $90^\circ$  خم شده و برای اندازه‌گیری سرعت در یک کانال باز به کار برده شده است، نشان داده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود دهانه‌ی لوله در مسیر جریان قرار گرفته است.



توسط معادله‌ی ۵ می‌توان سرعت متوسط در لوله پیتوت را محاسبه کرد.

$$V = \sqrt{2g\Delta h} \quad (5)$$

که در رابطه‌ی فوق

$g =$  شدت جاذبه،  $m/s^2$

$\Delta h =$  اختلاف ارتفاع،  $m$

$V =$  سرعت جریان،  $m/s$

با داشتن سطح مقطع کانال و محاسبه‌ی سرعت می‌توان دبی را از طریق معادله‌ی (۶) بدست آورد.

$$Q = V \times A \quad (6)$$

که در معادله‌ی فوق،

$Q =$  دبی،  $m^3/s$

$V =$  سرعت،  $m/s$

$A =$  سطح کانال،  $m^2$

## ۴-۲-۴ اندازه‌گیری دبی به وسیله‌ی اثرات نیروی مقاوم

### الف - روتامتر:

ساده‌ترین وسیله در این روش روتامتر است. روتامتر به صورت عمودی در مسیر جریان قرار می‌گیرد. جریان سیال از پایین وارد لوله‌ی مخروطی قائم شده باعث می‌شود شناور به طرف بالا حرکت کند. شناور تا نقطه‌ای بالا می‌رود که نیروهای مقاوم با نیروهای وزن و شناوری موازنه گردد. در این صورت، مکان شناور، معرف دبی (جریان) است. این وسیله گاهی «شمارشگر سطحی» نامیده می‌شود، زیرا ارتفاع شناور به سطح حلقوی میان شناور و لوله‌ی مخروطی بستگی دارد. در شکل ۴-۶ روتامترها را مشاهده می‌کنید.





ب - اندازه‌گیری شدت جریان (دبی) به وسیله‌ی روتامتر:  
معمولاً تمامی روتامترها مدرج شده و قبلاً به وسیله‌ی دستگاه‌هایی در آزمایشگاه‌های صنعتی کالیبره شده‌اند. بدین منظور، بسته به نوع و محل استفاده، درجه‌بندی‌های مختلفی شده‌اند؛ برای مثال، به صورت لیتر بر دقیقه یا گالن بر دقیقه برای مایعات، و فوت مکعب یا مترمکعب در ساعت برای گازها درجه‌بندی شده‌اند.

### ۳-۴- مقایسه‌ی وسایل اندازه‌گیری جریان (ونتوری متر و اری فیس متر)

#### ۱-۳-۴- ونتوری متر

الف - سطح داخلی لوله‌ی ونتوری صاف و صیقلی و از فلز مقاوم ساخته می‌شود.  
ب - ساخت و تعمیرات و نگهداری این وسیله وقت گیر و هزینه‌بردار است.

#### ۲-۳-۴- اری فیس متر

الف - تهیه، بازدید و نصب و تغییرات در نوع اری فیس آسان و کم هزینه است.  
ب - اری فیس افت فشار دایم بیش‌تری نسبت به ونتوری متر دارد.  
ج - بر اثر اصطکاک و برخورد با مواد سنگین و خورنده، لبه‌های روزنه اری فیس کننده شده از این رو محاسبات اولیه را با خطا همراه می‌سازد.

### ۴-۴- آزمایش: محاسبه‌ی میزان دبی و نوع جریان

#### اهداف

- ۱- اندازه‌گیری شدت جریان به روش مستقیم؛
  - ۲- اندازه‌گیری شدت جریان و اثرات افت فشار؛
  - ۳- مفهوم ضریب اصطکاک<sup>۱</sup>؛
  - ۴- مفهوم جریان آرام<sup>۲</sup> و آشفته<sup>۳</sup>.  
اجزای تشکیل دهنده‌ی دستگاه (شکل ۸ - ۴) عبارت‌اند از:
    - ۱- تانک ذخیره‌ی آب.
    - ۲- شیر فلکه‌ای، دو عدد.
    - ۳- لوله‌ی مسی به قطر ۴/۵ میلی‌متر (لوله‌ی آلومینیومی هم توصیه می‌شود).
    - ۴- یک استوانه‌ی مدرج.
    - ۵- دو لوله‌ی موین به صورت پیزومتری.
- تئوری انجام آزمایش:  
سیالات با سرعت‌های کم معمولاً در محدوده‌ی جریان آرام هستند. برای درک جریان آرام یک اصطلاح را تعریف می‌کنیم.

۱- Friction Factor

۲- Laminar flow

۳- Turbulent flow

## عدد رینولدز<sup>۱</sup>:

این عدد تابع خصوصیات فیزیکی سیال است و نسبت مستقیم با سرعت و سطح مقطع لوله‌ای دارد که سیال در آن جاری است. عدد حاضر بر اساس این رابطه محاسبه می‌شود:

$$\text{عدد رینولدز} = \frac{(\text{قطر}) (\text{سرعت}) (\text{چگالی})}{(\text{ویسکوزیته})}$$

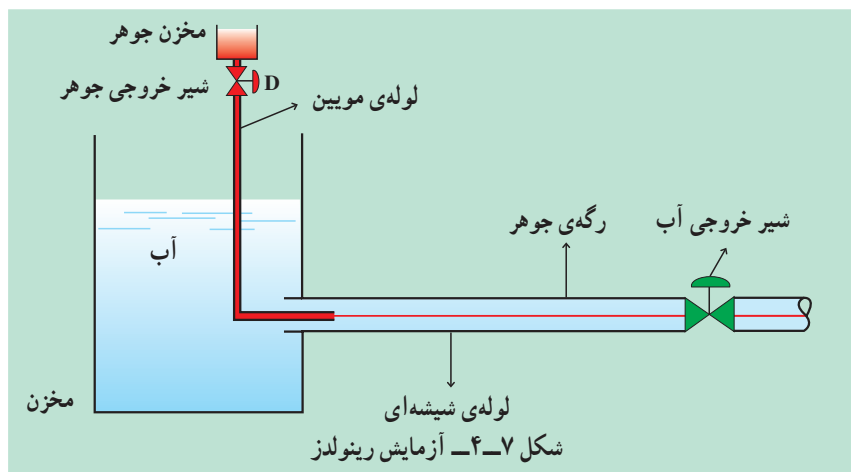
$$\text{Re No} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

جریان آرام: هرگاه عدد رینولدز از رقم ۲۰۰۰ کم‌تر باشد، جریان را «آرام» می‌نامیم.  
جریان آشفته: سیالات با عدد رینولدز بیش از ۴۰۰۰ را «جریان آشفته» می‌گویند.  
جریان گذرا<sup>۲</sup>: محدوده‌ی بین رینولدز ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ را «جریان گذرا» می‌نامند که حالت ناپایدار دارد و با کوچک‌ترین تحریکی به سمت جریان آشفته گرایش پیدا می‌کند.

## فعالیت: تحقیق جریان آرام و آشفته

وسایل موردنیاز برای انجام این تحقیق مطابق شکل ۴-۷ عبارت‌اند از:

- ۱- مخزن شیشه‌ای
- ۲- لوله‌ی موئین و مخزن جوهر
- ۳- لوله‌ی شیشه‌ای خروجی از مخزن
- ۴- شیرهای قطع و وصل جریان



۱- Reynolds Number

۲- Transition Flow

## روش انجام تحقیق

- ۱- مخزن را از آب پر کنید.
  - ۲- جوهر را درون مخزن بریزید.
  - ۳- شیر خروجی آب را کمی باز کنید.
  - ۴- شیر خروجی جوهر را باز کنید.
  - ۵- نوع جریان را درون لوله مشاهده نمایید.
  - ۶- این آزمایش را در دبی‌های مختلف انجام دهید.
  - ۷- مشاهدات خود را شرح دهید.
  - ۸- به‌ازای دبی‌های مختلف عدد رینولدز را محاسبه کنید.
- تغییرات رژیم جریان بر اثر افزایش عدد رینولدز در این آزمایش به‌خوبی قابل مشاهده است. در حقیقت محدوده‌ی جریان‌های آرام و آشفته به‌وسیله‌ی این آزمایش مشخص خواهد شد.
- در این آزمایش، که در دمای محیط انجام می‌پذیرد از مقادیر زیر برای انجام محاسبات استفاده نمایید:

ویسکوزیته‌ی آب:  $10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$   $8/94$

دانسیته‌ی آب:  $997/1 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

## ۴-۵- آزمایش: محاسبه‌ی ضریب اصطکاک در جریان آرام

معمولاً برای جریان‌ات آرام از این رابطه استفاده می‌شود:

$$\text{ضریب اصطکاک} = \frac{64}{\text{عدد رینولدز}}$$

$$f = \frac{64}{\text{Re No}}$$

مراحل آزمایش (شکل ۸-۴):

- ۱- ابتدا شیرهای  $V_1$  و  $V_2$  را ببندید و تانک را از آب پر کنید.
- ۲- شیر  $V_1$  را باز کرده  $V_2$  را هم چنان بسته نگاه دارید.
- ۳- شیر  $V_2$  را به آرامی باز کنید (پس از گذشت چند ثانیه جریان به‌صورت پایدار<sup>۱</sup> در خواهد آمد).

۴- استوانه‌ی مدرّج را زیر لوله‌ی خروجی قرار دهید و مدت زمان لازم برای پر شدن ۵۰ cc را اندازه‌گیری نمایید.

۵- با داشتن دبی از مرحله‌ی «۴» و محاسبه‌ی عدد رینولدز، ضریب اصطکاک را بیابید.

۶- مراحل ۳ الی ۵ را در دبی‌های مختلف تکرار کنید.

۷- جدول ۴-۱ را تکمیل نموده ضریب اصطکاک را بیابید.

## ۶-۴- محاسبه‌ی تغییرات ویسکوزیته‌ی سیال بر اثر تغییرات دما

### تئوری آزمایش

در محدوده‌ی جریان آرام ( $Re < 2000$ ) بر اساس رابطه‌ی زیر می‌توان اثر دما را بر ویسکوزیته‌ی سیال پیدا کرد. از این رابطه می‌توان ویسکوزیته‌ی سیال را در محدوده‌ی جریان آرام پیدا کرد.

$$\mu = \frac{(\text{قطر لوله})^4 (\text{عدد پی}) (\text{اختلاف فشار})}{(128) (\text{دبی}) (\text{طول لوله})}$$

$$\mu = \frac{\Delta P \cdot \pi \cdot D^4}{128 \cdot Q \cdot L}$$

(با اندازه‌گیری اختلاف فشار در دبی‌های مختلف از طریق پیزومتر و در حالت سرعت ثابت در دماهای مختلف ویسکوزیته پیدا خواهد شد.)

مراحل آزمایش (شکل ۸-۴):

۱- شیرهای  $V_1$  و  $V_2$  را بسته نگاه دارید و تانک ذخیره را پر کنید.

۲- شیر  $V_1$  را باز کرده  $V_2$  را هم چنان بسته نگاه دارید.

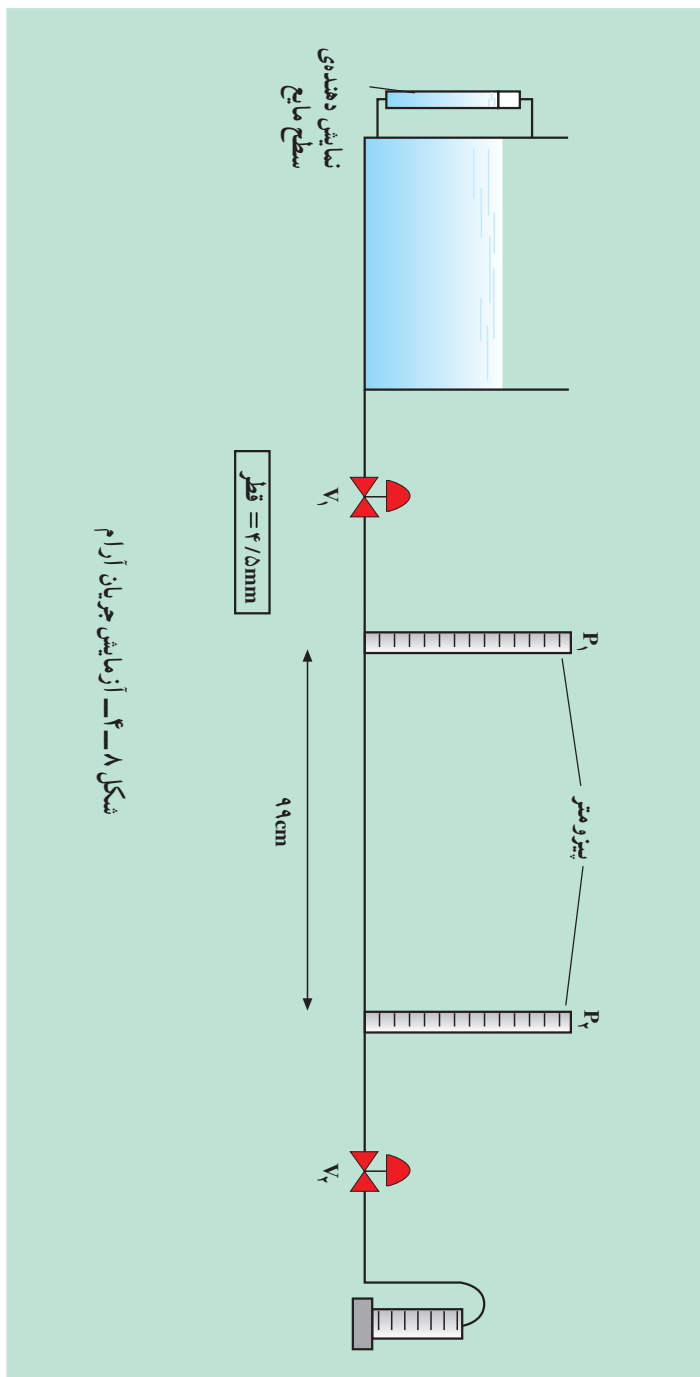
۳- به وسیله‌ی یک المنت برقی مجهز به ترموستات آب را تا  $40^\circ\text{C}$  درجه‌ی سلسیوس گرم کنید.

۴- شیر  $V_2$  را باز کنید تا جریان آرام برقرار شود.

۵- زمان لازم برای پر شدن ۵۰ cc از استوانه‌ی مدرّج را اندازه‌گیری کنید.

۶- مراحل «۳» الی «۵» را برای دماهای  $45^\circ\text{C}$ ،  $50^\circ\text{C}$ ،  $55^\circ\text{C}$  و  $60^\circ\text{C}$  تکرار نمایید.

۷- جدول ۴-۲ را تکمیل کنید در دماهای مختلف ویسکوزیته‌ی سیال را پیدا نمایید.



شکل ۸-۴- آزمایش جریان آرام

جدول ۱-۴

زمان (ثانیه)	حجم پر شده (سی سی)	دبی	ضریب اصطکاک

جدول ۲-۴

	۴۰°C	۴۵°C	۵۰°C	۵۵°C	۶۰°C
زمان (ثانیه)					
حجم پر شده (سی سی)					
اختلاف ارتفاع (cm)					
ویسکوزیته					

نکته: این جدول را برای دبی های مختلف تهیه کنید و تأثیر دما را بر روی ویسکوزیته در دبی های مختلف محاسبه نمایید.

## ۴-۷- آزمایش: اندازه‌گیری جریان سیالات به وسیله‌ی اری فیس و ونتوری

این دستگاه (شکل ۴-۹) متشکل است از:

۱- تانک ذخیره‌ی آب

۲- پمپ گریز از مرکز

۳- اری فیس متر

۴- ونتوری متر

۵- مانومتر جیوه‌ای

مراحل آزمایش:

۱- با اجازه‌ی مربی دستگاه را روشن کنید.

۲- شیر M-۱A و M-۱B را باز کنید.

۳- شیر M-۲A و M-۲B را باز کنید.

۴- اختلاف فشار را از طریق مانومتر بخوانید.

۵- دبی را تغییر داده دوباره اختلاف فشار را بخوانید.

۶- جدول ۴-۳ را پر کنید و ضریب تخلیه‌ی اری فیس را پیدا کنید.

روابط:

$$Q = C \cdot A_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}}$$

$$= C \cdot A_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}}$$

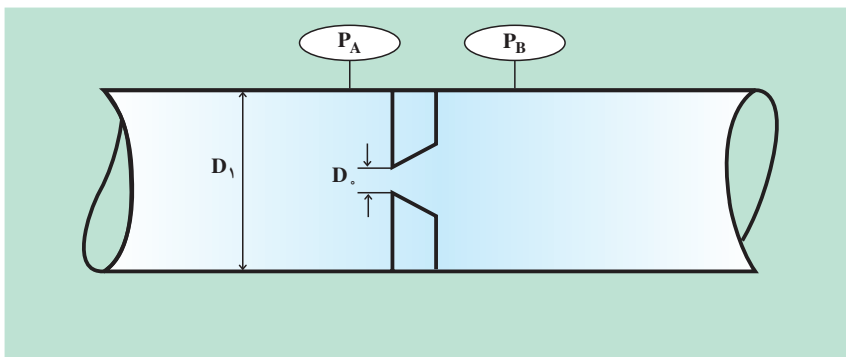
ضریب تخلیه  $C =$

بنابراین:

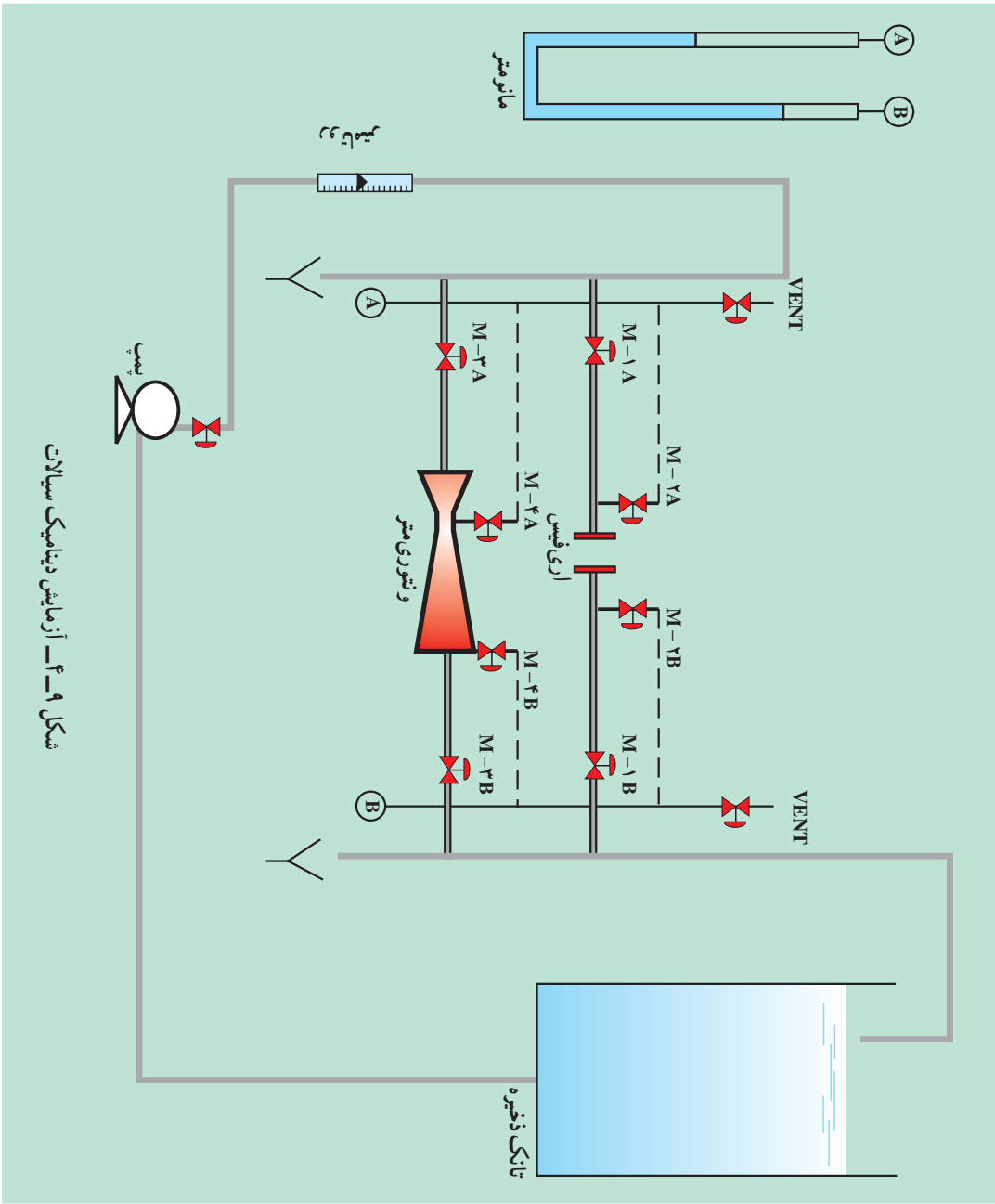
$$A_0 = \pi D^2 / 4 = \text{سطح مقطع اری فیس}$$

$$\Delta P = P_A - P_B = \text{اختلاف فشار}$$

$$\rho = \text{چگالی آب}$$







شکل ۹-۴\_ آزمایش دینامیک سیالات

جدول ۳-۴

Q	$P_1$	$P_2$	$\Delta P$	C ضریب تخلیه اری فیس

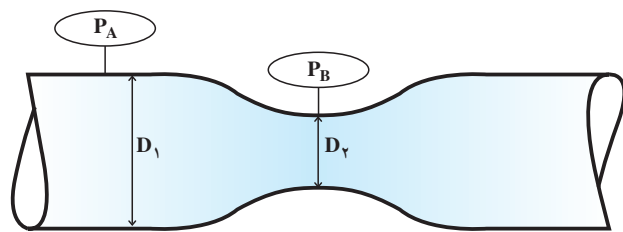
## آزمایش ونتوری

- ۱- شیر M-۳A و M-۳B را باز کنید.
  - ۲- شیر M-۴A و M-۴B را باز کنید.
  - ۳- اختلاف فشار را از طریق مانومتر بخوانید.
  - ۴- دبی را تغییر داده دوباره اختلاف فشار را بخوانید.
  - ۵- جدول ۴-۴ را پر کرده ضریب تخلیه‌ی ونتوری را پیدا کنید.
- روابط:

$$Q = C_d A_v \sqrt{\frac{2g \left( \frac{\Delta P}{\gamma} \right)}{1 - \left( \frac{D_v}{D_1} \right)^4}}$$

(شدت جاذبه چگالی)  $\left( \frac{\text{اختلاف فشار}}{\text{شدت جاذبه}} \right)$  (شدت جاذبه (۲))

(سطح مقطع ونتوری) (ضریب تخلیه) = دبی



جدول ۴-۴

Q	$P_1$	$P_2$	$\Delta P$	ضریب مانومتر <sup>C</sup>

## خود آزمایی

- ۱- دبی یا شدت جریان را تعریف کنید.
- ۲- روش‌های اندازه‌گیری دبی را نام ببرید.
- ۳- ساختمان یک ونتوری متر از چه بخش‌هایی تشکیل شده است؟
- ۴- روتامتر را شرح دهید.
- ۵- مزایا و معایب ونتوری متر و اری فیس را نام ببرید.
- ۶- فرق جریان آرام و آشفته را توضیح دهید.

### پمپ‌ها و کمپرسورها

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

- ۱- ساختمان و عملکرد پمپ گریز از مرکز را توضیح دهد.
- ۲- توان الکتریکی پمپ را محاسبه نماید.
- ۳- توان فرآیندی پمپ را محاسبه کند.
- ۴- راندمان پمپ را محاسبه نماید.
- ۵- منحنی شدت جریان سیال و هد<sup>۱</sup> پمپ را رسم کند.
- ۶- با کمپرسورهای گریز از مرکز آشنا شود (آموزش با فیلم).

#### ۱-۵- مقدمه

##### ۱-۱-۵- پمپ

به‌طور کلی پمپ‌ها دستگاه‌هایی هستند که انرژی مکانیکی را از موتور گرفته آن را به مایع منتقل می‌سازند؛ بدین ترتیب؛ مایع در خروجی از پمپ حاوی انرژی‌ای خواهد بود که به هر حال میزان آن از انرژی داده شده به موتور کم‌تر است، زیرا بخشی از انرژی صرف اصطکاک و افت می‌شود. از پمپ‌های متداول در صنایع، پمپ گریز از مرکز<sup>۲</sup> است.

##### ۲-۱-۵- پمپ گریز از مرکز

این پمپ از یک پروانه<sup>۳</sup> (چرخ پره‌دار) تشکیل شده که محور دوران موتور به آن متصل است و آن را می‌چرخاند. در شکل ۱-۵ انواع پروانه‌های استفاده شده در پمپ گریز از مرکز نشان داده شده است.

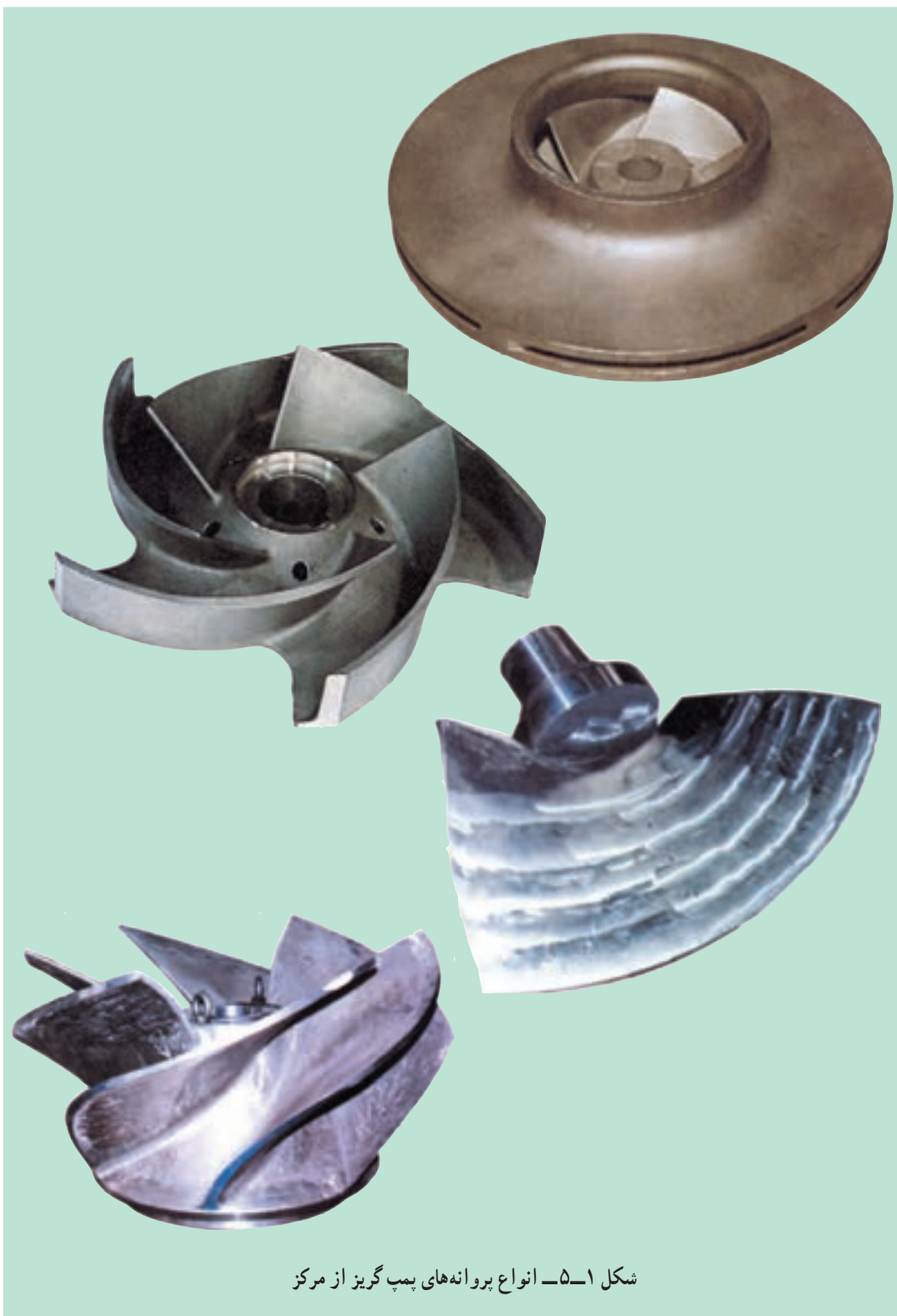
در این پمپ، مایع از سوراخ مرکزی چرخ دوار وارد شده همراه با آن دوران می‌کند و در نتیجه نیروی گریز از مرکز در امتداد پره‌های چرخ به قسمت خارجی رانده می‌شود. در این قسمت، مایع انرژی جنبشی نسبتاً زیادی پیدا می‌کند.

---

۱- در اینجا منظور ارتفاع آبدی است: Pump Head

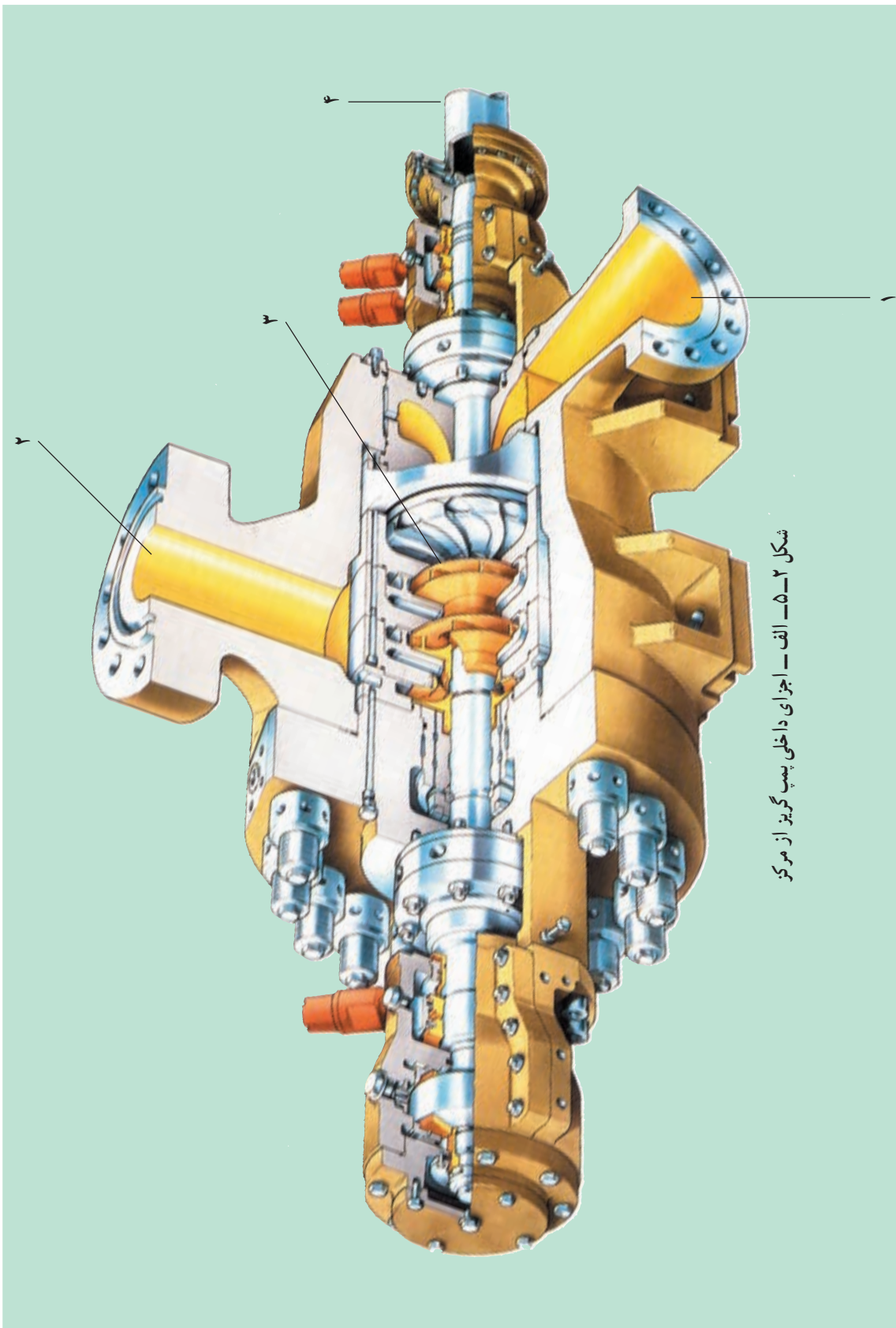
۲- Centrifugal pump

۳- Impeller



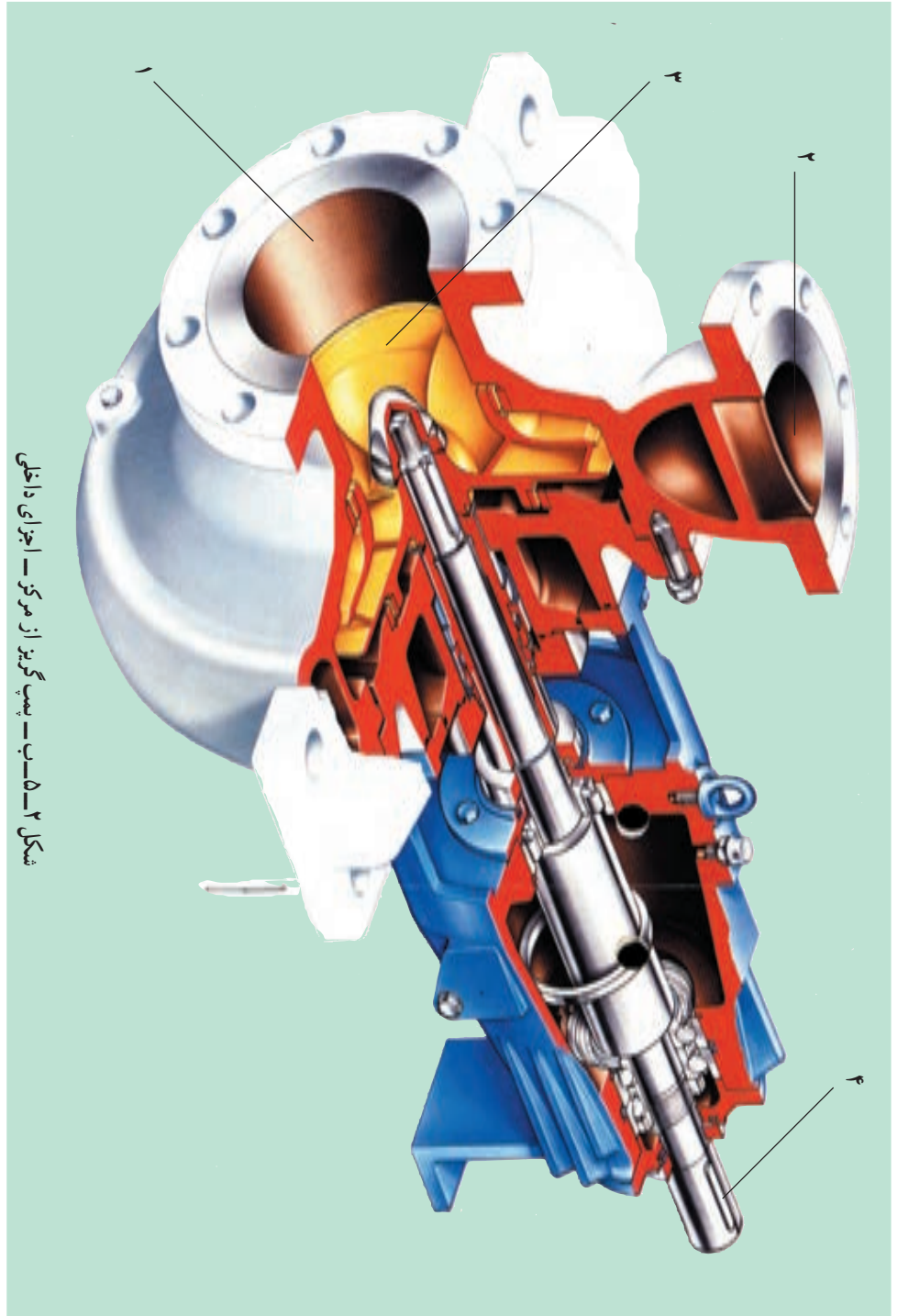
شکل ۱-۵- انواع پروانه‌های پمپ گریز از مرکز

در اطراف چرخ، محفظه‌ای وجود دارد که مایع پس از ترک چرخ دوار وارد آن شده در این قسمت، انرژی جنبشی آن به انرژی فشاری تبدیل شده سپس از مجرای خروجی بیرون فرستاده می‌شود. شکل ۲-۵ ساختمان یک پمپ گریز از مرکز را نمایش می‌دهد.



شکل ۲-۵- الف - اجزای داخلی پمپ گریز از مرکز





شکل ۲-۵-ب- پمپ گریز از مرکز- اجزای داخلی

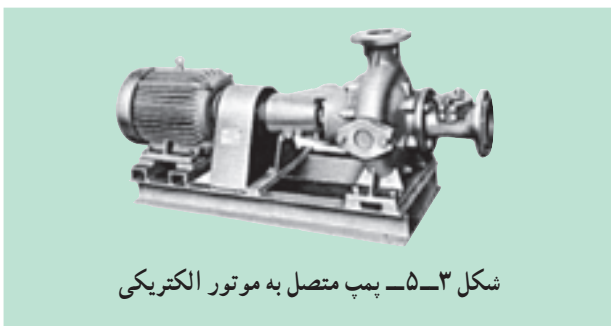
### اجزای شکل ۲-۵- الف و ب

شماره ی قطعه	نام
۱	ورودی پمپ <sup>۱</sup> (مکش)
۲	خروجی پمپ <sup>۲</sup> (تخلیه)
۳	پروانه ی پمپ <sup>۳</sup>
۴	محور پمپ <sup>۴</sup>

بدین ترتیب، هر پمپ دارای دو لوله ی ورودی و خروجی است که به ترتیب «لوله های مکش<sup>۱</sup>» و «لوله های رانش<sup>۲</sup>» (تخلیه) خوانده می شوند. هم زمان با خارج شدن مایع در امتداد پره ها، در قسمت میانی چرخ، خلأ به وجود آمده لذا مایع بی در پی به قسمت مکش پمپ وارد خواهد شد.

### جمع بندی

به وسیله ی پروانه ی موجود در پوسته ی پمپ قطرات مایع از مرکز به خارج یعنی پوسته ی پمپ پرتاب می شوند؛ از این رو فشار سیال افزایش می یابد. نیروی محرکه ی پروانه ی پمپ به وسیله ی موتور الکتریکی یا توربین ایجاد می شود. در شکل ۳-۵ پمپ متصل به موتور الکتریکی را مشاهده می کنید.



شکل ۳-۵- پمپ متصل به موتور الکتریکی

۱- Pump Suction

۲- Pump Discharge

۳- Pump Impeller

۴- Pump Shaft

۵- Suction

۶- Discharge Lift

## ۲-۵- محاسبه‌ی توان الکتریکی پمپ<sup>۱</sup>

توان موتور الکتریکی که پروانه‌ی پمپ را به چرخش در می‌آورد با این رابطه به دست می‌آید:

$$(1) \quad \text{توان الکتریکی} = \text{I} \cdot \text{V} \cdot \cos \Phi$$
$$P_{\text{الکتریکی}} = V \cdot I \cdot \cos \Phi$$

$\Phi$ : اختلاف فاز بین ولتاژ و آمپر است که شرکت سازنده، آن را در روی شناسنامه‌ی پمپ حک می‌کند.

## ۳-۵- محاسبه‌ی توان فرآیندی پمپ<sup>۲</sup>

توان فرآیندی پمپ مبین انرژی است که به سیال منتقل می‌شود و طی آن فشار سیال افزایش می‌یابد. توان فرآیندی نسبت مستقیم با شدت جریان و خصوصیات فیزیکی سیال دارد و از طریق این رابطه محاسبه می‌شود:

(شدت جاذبه)  $\times$  (چگالی)  $\times$  (ارتفاع آب‌دهی)  $\times$  (شدت جریان سیال) = توان فرآیندی

$$(2) \quad P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h_p$$

بر اساس این رابطه:

$$Q = \text{شدت جریان (دبی)}, \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h_p = \text{ارتفاع آب‌دهی (هدپمپ)}, \text{ m}$$

$$\rho = \text{چگالی}, \text{ kg/m}^3$$

$$g = \text{شدت جاذبه}, \text{ m/s}^2$$

$$P = \text{توان}, \text{ W}, \text{ وات}$$

<sup>۱</sup>— Electrical power

<sup>۲</sup>— Process power

## ۴-۵- راندمان کلی پمپ<sup>۱</sup>

اصطلاح بازده یا راندمان به این دلیل مطرح می‌شود که بخشی از انرژی الکتریکی داده شده به پمپ هدر می‌رود؛ بر این اساس، نسبت توان فرآیندی به توان الکتریکی پمپ را «راندمان» می‌نامیم:

$$\text{راندمان} = \frac{\text{توان فرآیندی}}{\text{توان الکتریکی}} \quad (۳)$$

$$\eta = \frac{P_{\text{فرآیندی}}}{P_{\text{الکتریکی}}} = \frac{Q \cdot \text{hp} \cdot \rho \cdot g}{V \cdot I \cdot \cos \Phi}$$

## ۵-۵- حفره زایی در پمپ<sup>۲</sup>

هنگامی که مایع از قسمت‌های باریک لوله عبور نماید، سرعت آن افزایش پیدا می‌کند و فشارش کاهش می‌یابد. اگر بر اثر این کاهش فشار به حد فشار اشباع بخار مایع برسد در این صورت مایع، تبخیر و گاز تولید می‌شود. به عبارت دیگر، در این بخش مایع به غلیان در خواهد آمد. هنگامی که بخار دوباره به شکل مایع درآید این امر باعث ایجاد ضربه و تنش‌های فشاری ناگهانی خواهد شد.

اگر حباب‌های بخار در هنگام ترکیدن در تماس با یک جسم جامد باشند، نیروهای ناشی از ترکیدن حباب‌ها باعث ایجاد فشار موضعی بسیار خواهد شد؛ در نتیجه، موجب ایجاد حفره در سطح جسم جامد می‌شود. این پدیده با صدا و ارتعاش همراه است. به طور کلی هنگامی پمپ‌ها در وضعیت عادی کار می‌کنند که فشار مطلق در لوله‌ی مکش بسیار پایین نباشد؛ در غیر این صورت، مقداری بخار در بخش مکش تولید می‌شود و این بخار در داخل پمپ، دوباره به مایع تبدیل می‌گردد و صداهای مخصوصی را ایجاد می‌کند که باعث کاهش راندمان پمپ می‌شود.

### جمع‌بندی

اگر فشار ورودی پمپ کاهش یابد در قسمت مکش پمپ خلأ ایجاد می‌شود و چنانچه مایع به فشار بخار اشباع خود برسد، حباب‌های بخار تولید می‌شود و در داخل محفظه پمپ دوباره تبدیل به مایع خواهند شد. بر اثر برخورد و متلاشی شدن این حباب‌ها، بر روی پروانه‌ی پمپ حفره‌هایی ایجاد می‌شود. این مشکل را «حفره‌زایی» یا «کاویتاسیون» می‌نامند. جهت جلوگیری از این پدیده با تغییر دبی خروجی پمپ مشکل قابل حل خواهد بود. معمولاً کاویتاسیون با صداهای ناهنجار همراه است و بازده پمپ کم می‌شود. برای

۱- Efficiency

۲- Cavitation = کاویتاسیون

از بین بردن کاویتاسیون باید فشار ورودی به پمپ را افزایش دهیم. به همین دلیل، می توان قطر لوله‌ی خروجی پمپ را کاهش داد تا فشار ورودی افزایش پیدا کند، یعنی با قرار دادن یک شیر در خروجی پمپ و کاهش دبی خروجی از پمپ، می توان از بروز پدیده‌ی کاویتاسیون جلوگیری کرد.

چنان چه پدیده‌ی مذکور مدت طولانی برای پمپ اتفاق افتاده باشد معمولاً روی پروانه‌ی پمپ، خوردگی ایجاد می شود و قطعات خورده شده در پوسته‌ی پمپ رسوب خواهند کرد.

## ۶-۵- آزمایش: پمپ گریز از مرکز

هدف: آشنایی فراگیران با ساختمان و عمل کرد پمپ و محاسبات فرآیندی

ساختمان دستگاه از این بخش‌ها تشکیل شده است:

- ۱- پمپ گریز از مرکز.
- ۲- تانک ذخیره آب.
- ۳- اندازه‌گیری جریان آب.
- ۴- شیر دروازه‌ای.
- ۵- دو عدد فشارسنج.
- ۶- لوله‌های رابط و اتصالات مورد نیاز.
- ۷- تابلوی الکتریکی حاوی ولت متر و آمپر متر.

روش آزمایش:

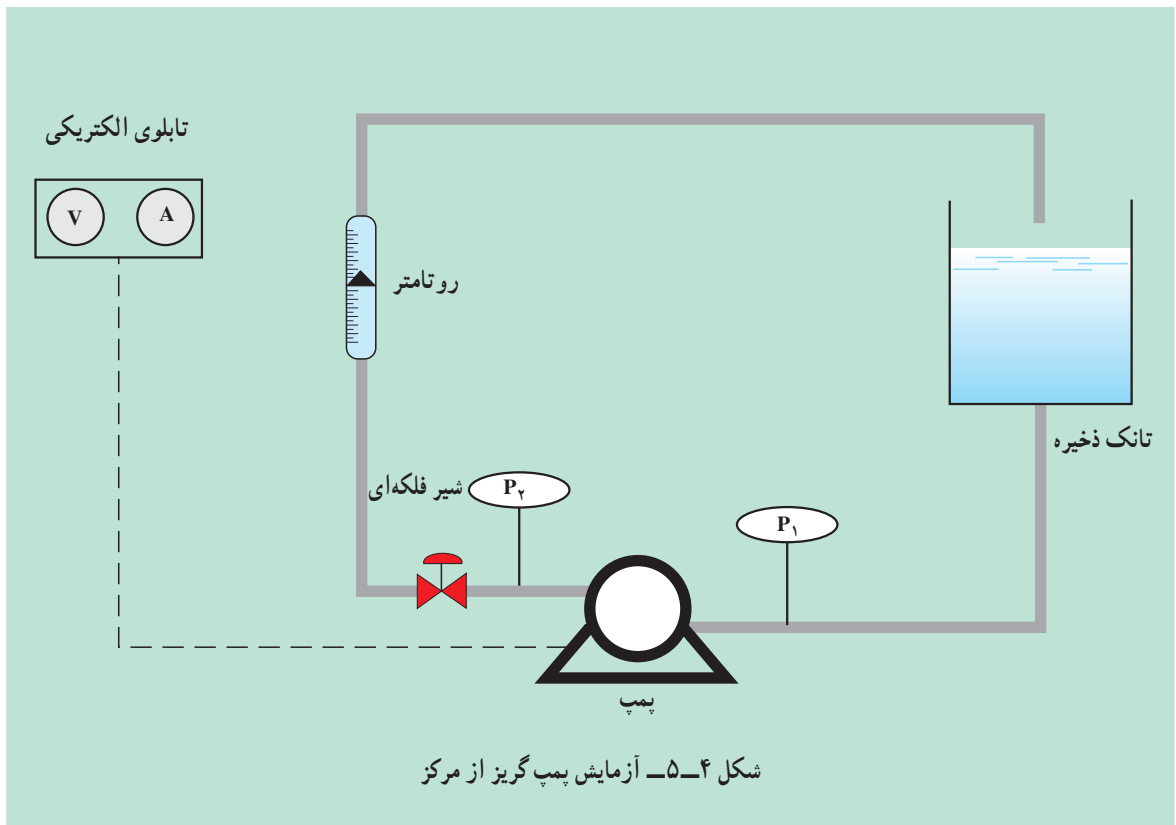
- ۱- با تنظیم شیر دبی‌های مختلفی را اندازه‌گیری کنید.
- ۲- در هر دبی ایجاد شده فشارهای ورودی و خروجی را بخوانید و اختلاف فشار برای هر شدت جریان را محاسبه نمایید.
- ۳- در هر دبی ایجاد شده ولتاژ و آمپر را بخوانید و توان الکتریکی را محاسبه نمایید.
- ۴- توان فرآیندی را بامعادله‌ی ۲ محاسبه نمایید. سپس با استفاده از رابطه‌ی ۳ راندمان را به دست آورید.
- ۵- جدول ۱-۵ را تکمیل نمایید.
- ۶- ارتفاع آب‌دهی (هد پمپ) را برحسب دبی رسم کنید.
- ۷- راندمان را برحسب دبی رسم کنید.
- ۸- با استفاده از نمودارها، نتیجه بگیرید در کدام هد و دبی، پمپ ماکزیمم راندمان را دارد.

$$hp = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho \cdot g}$$

جدول ۱-۵

راندمان	توان فرآیندی	توان الکتریکی	آمپر	ولتاژ	هد پمپ	اختلاف فشار	فشار خروجی	فشار ورودی	شدت جریان
	Pe.	V.I.cos $\Phi$	I	V	hp	$P_2 - P_1$	$P_2$	$P_1$	Q

(شکل ۴-۵ مربوط به دستگاه آزمایش است.)

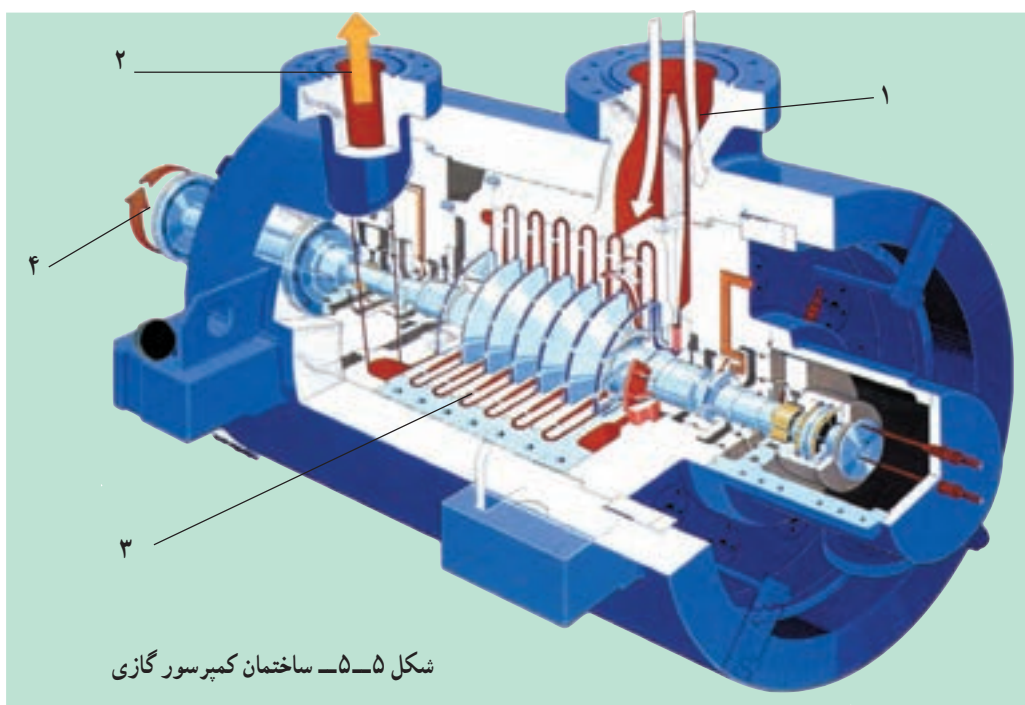


شکل ۴-۵- آزمایش پمپ گریز از مرکز

## ۷-۵- کمپرسورهای گازی

برای افزایش فشار گازها از کمپرسور استفاده می‌شود. معمول‌ترین نوع کمپرسور استفاده شده در صنعت، کمپرسورهای گریز از مرکز هستند که در واحدهای شیمیایی نفت و گاز کاربرد دارند.

نیروی محرکه‌ی این نوع کمپرسورها عموماً به وسیله‌ی توربین‌های گازی تولید می‌شود و اغلب برای افزایش فشار گاز در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی از کمپرسورهای گریز از مرکز چند مرحله‌ای استفاده می‌کنند. در شکل ۵-۵ ساختمان کمپرسور گازی نشان داده شده است.



شکل ۵-۵- ساختمان کمپرسور گازی

### اجزای کمپرسور گازی

نام	شماره‌ی قطعه
ورودی کمپرسور <sup>۲</sup>	۱
خروجی کمپرسور <sup>۳</sup>	۲
تیغه‌های کمپرسور <sup>۴</sup>	۳
محور کمپرسور <sup>۵</sup>	۴

۱- Compressor

۲- Inlet line

۳- Outlet line

۴- Blades

۵- Shaft



### ۱-۷-۵- عمل کرد کمپرسور

گاز با فشار جو پس از عبور از فیلترهای تعبیه شده روی کمپرسور به داخل آن هدایت می شود. همانند عمل کرد سیال در پمپ‌های گریز از مرکز، گاز نیز بر اثر برخورد با تیغه‌های کمپرسور متراکم می شود. این گاز را بر اساس مصارف گوناگون از کمپرسور خارج می کنند. در شکل ۶-۵ یک نوع کمپرسور را مشاهده می کنید.



شکل ۶-۵- کمپرسور مورد استفاده در صنایع شیمیایی

به هنگام متراکم شدن گاز، دمای آن افزایش می یابد؛ از این رو، کمپرسورها را چند مرحله ای می سازند و پس از هر مرحله، افزایش فشار یک خنک کن میانی در نظر گرفته می شود تا در فرآیند فشار ثابت، دمای گاز را کاهش دهد. در شکل ۷-۵ نمونه های متعددی از استفاده ی کمپرسور در صنایع، نشان داده شده است.



شکل ۷-۵- الف - کمپرسور تولید هوای فشرده



شکل ۷-۵-ب - تولید کاغذ و خمیر کاغذ



شکل ۷-۵-ج - کمپرسور استفاده شده در سیستم سردسازی



شکل ۷-۵-د - کمپرسور صنایع آهن و استیل

## ۸-۵- کمپرسورهای هوا

کمپرسورهای هوا در طرح‌های متنوع از جمله پیستونی و توربینی کاربرد فراوانی دارند (شکل ۵-۷- الف).

### ۸-۵-۱- کمپرسورهای توربینی

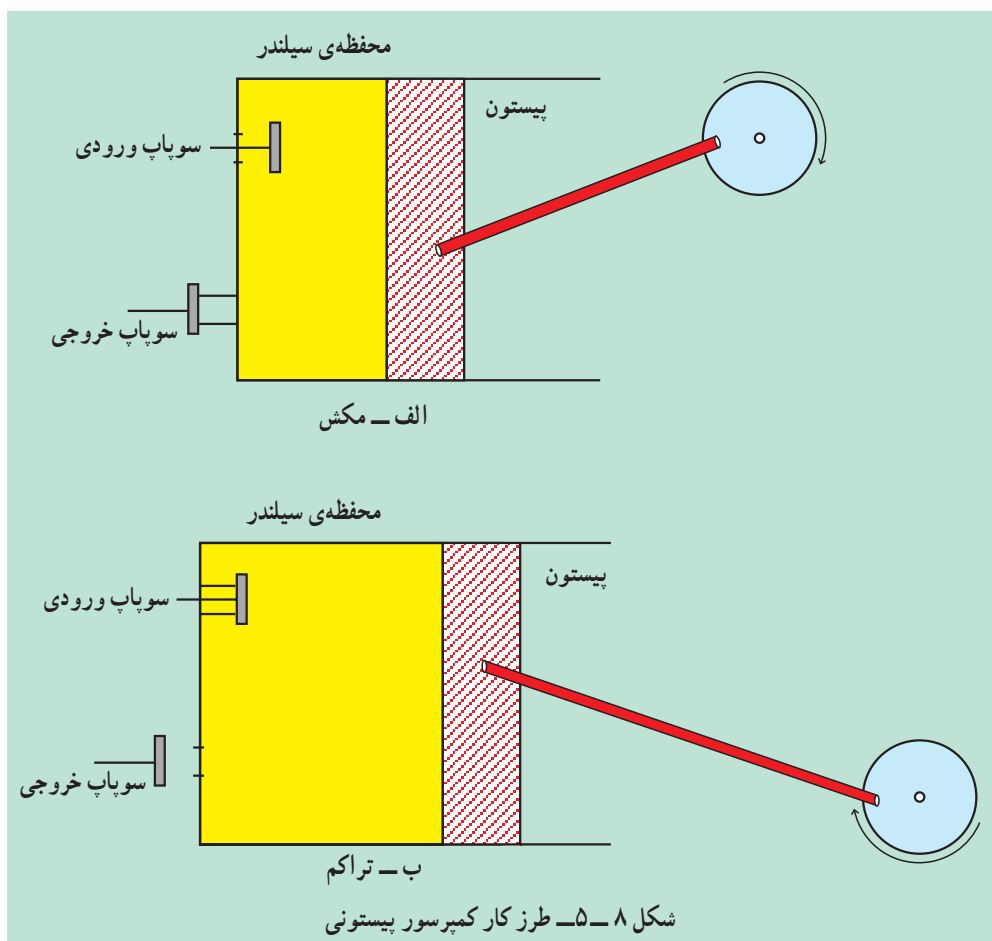
کاربرد صنعتی کمپرسورهای توربینی در مواردی است که به خروجی بسیار زیاد نیاز باشد، مانند معادن، کوره‌های ریخته‌گری و ... به صورت تقریبی برای تأسیساتی که تا ۱۰۰۰۰۰ فوت مکعب ظرفیت دارند. یعنی اینکه این حجم هوای فشرده نیاز دارند (شکل ۵-۷- د).

### ۸-۵-۲- کمپرسورهای پیستونی

از رایج‌ترین نوع کمپرسورها می‌باشند که برای قدرت‌های کم و متوسط استفاده می‌شود. از لحاظ ساخت شبیه موتورهای احتراق داخلی است با این تفاوت که از طریق ورودی و خروجی به وسیله‌ی هوا تحریک می‌شوند. انواع تک سیلندری دو، سه و چهارسیلندری این نوع کمپرسورها کاربرد فراوانی دارند.

#### ۸-۵-۲-۱- طرز کار کمپرسورهای پیستونی:

مطابق شکل ۵-۸- هوا ابتدا توسط سوپاپ ورودی به داخل سیلندر مکیده می‌شود و سپس در سیلندر متراکم شده و از سوپاپ خروجی، هوای متراکم به مخزن مناسبی تخلیه می‌شود.



## ۲-۲-۸-۵ - ظرفیت کمپرسور:

ظرفیت واقعی یک کمپرسور به صورت حجم هوای ورودی به آن برحسب فوت مکعب در دقیقه در شرایط درجه حرارت و فشار هوای ورودی بیان می‌شود. بنابراین وقتی گفته می‌شود ظرفیت کمپرسور  $100$  می‌باشد یعنی  $100$  فوت مکعب در دقیقه هوای آزاد در شرایط فشار و درجه حرارت محیط به داخل کمپرسور مکیده شده و تا حد موردنیاز تراکم می‌شود.

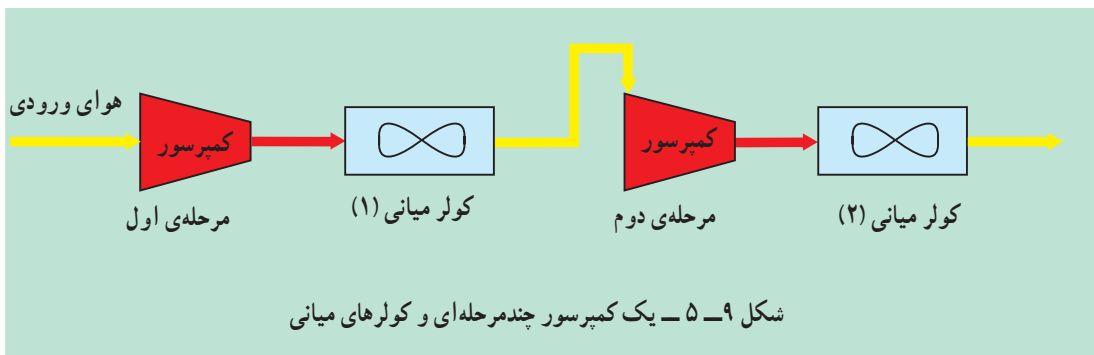
## ۳-۸-۵ - تراکم چند مرحله‌ای

تراکم می‌تواند در یک یا چند مرحله انجام گیرد. اگر تراکم هوای اتمسفر ورودی به فشار مورد نظر در یک سیلندر صورت گیرد، تراکم را یک مرحله‌ای گویند. در کمپرسورهای یک مرحله‌ای برای هوای خیلی کم (در حدود  $5$  فوت مکعب در دقیقه) فشار تراکم ممکن است تا حد  $15 \text{ Psig}$  برسد اما معمولاً تراکم یک مرحله‌ای به فشار  $100 \text{ Psig}$  محدود می‌شود.

اگر بخواهیم بازده تراکم کمپرسور را به میزان زیادی افزایش دهیم باید ابتدا هوا را در یک سیلندر به فشار پایین (حدود  $4 \text{ Psig}$ ) تراکم نموده سپس هوای خروجی را وارد سیلندر دومی کنیم تا فشار آن به مقدار دلخواه برسد. در این روش هوا در دو مرحله تراکم می‌شود و این تراکم را دو مرحله‌ای می‌نامند. کمپرسورهای توربینی از نوع کمپرسورهای چند مرحله‌ای هستند (شکل‌های ۵-۵ و ۵-۶).

## ۴-۸-۵ - درجه حرارت هوای فشرده

در تراکم هوا درجه حرارت آن به طرز قابل توجهی بالا می‌رود. هوای متراکم با چنین درجه حرارتی نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. لذا کمپرسورها را به پره‌های خنک‌کننده<sup>۱</sup> در اطراف سیلندر آن مجهز می‌سازند. در کمپرسورهای دو مرحله‌ای یا چند مرحله‌ای از خنک‌کننده‌های میانی<sup>۲</sup> جهت کاهش درجه حرارت هوا بین مراحل استفاده می‌شود (مطابق شکل ۵-۹).



پس از تراکم نهایی، هوا کاملاً داغ شده است لذا باید توسط کولر نهایی خنک شود.

۱- Fan (Air Cooler)

۲- Inter Cooler

در جدول ۲-۵ برخی اشکالات احتمالی در کار با کمپرسور و راه‌های رفع اشکال فقط برای آشنایی شما توضیح داده شده است.

جدول ۲-۵- اشکالات احتمالی در کار با کمپرسور و راه‌های رفع اشکال

دلیل و رفع اشکال	عیب
- سیستم برقی کمپرسور بررسی شود.	کمپرسور روشن نمی‌شود.
- دمای محیط پایین است. - دریچه‌ی تنظیم مکش بسته نمی‌شود.	کمپرسور به آسانی روشن نشود.
- مانومتر نمایشگر خراب است. - دریچه‌ی تنظیم مکش بسته نمی‌شود. - شیر نگه‌دارنده‌ی فشار خراب است.	درجه‌ی فشار روغن علامتی را نشان نمی‌دهد.
- ایراد از فیلتر روغن، دمای محیط، افزایش دمای گاز کمپرسور، یا خنک‌کن روغن است.	کمپرسور قبل از رسیدن به حد فشار تنظیم شده خاموش شود.
- فیلتر تفکیک کننده خراب است. - سطح روغن بالا است. - مکش روغن در فیلتر انجام نمی‌شود.	مصرف اضافی روغن
- شیر خراب است یا شیر ایمنی تنظیم نیست. - کلید قطع فشار روی مقادیر بالا تنظیم شده است.	سوپاپ اطمینان در اثر فشار باز نشود.
- فیلتر مکش کثیف است. - دریچه‌ی تنظیم مکش کامل باز نشود. - در سیستم نشت وجود دارد.	هواده‌ی پایین باشد.
- اتصالات برقی باید بررسی شود.	کمپرسور به‌طور خودکار خاموش نشود.

توصیه: لازم و ضروری است که به منظور درک بهتر مطالب، برای هنرآموزان محترم برنامه‌ی بازدید از صنایع فراهم آید و از هنرجویان عزیز گزارش بازدید خواسته شود.

## خودآزمایی

- ۱- عمل کرد پمپ گریز از مرکز را شرح دهید.
- ۲- کاویتاسیون را شرح داده یک راه مقابله با آن را توضیح دهید.
- ۳- بازده پمپ را چگونه به دست می‌آورند؟
- ۴- عمل کرد کمپرسورهای گازی را شرح دهید.
- ۵- کمپرسورهای هوای توربینی در چه مواردی استفاده می‌شوند؟
- ۶- طرز کار کمپرسورهای هوای پیستونی را شرح دهید.
- ۷- وقتی می‌گوییم ظرفیت کمپرسور  $20^\circ$  است، یعنی چه؟
- ۸- تراکم چند مرحله‌ای هوا را شرح دهید.
- ۹- نقش کمپرسور در یخچال منازل شما چیست؟
- ۱۰- آیا جاروبرقی نمونه‌ای از کمپرسور است؟