فصل چهارم

دستگاه‌های اندازه‌گیری جریان سیّالات

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رودکه :

۱ــ مفهوم شدت جریان سیّال را توضیح دهد.

۲ــ وسایل اندازه‌گیری جریان را بشناسد.

۳ــ میزان شدت جریان را در وسایل مختلف محاسبه نماید.

۴ــ مفاهیم جریان آرام و آشفته را توضیح دهد.

۱ــ۴ــ مقدمه

شدت جریان (دبی[۱]):

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.

۲ــ۴ــ روش‌های اندازه‌گیری شدت جریان (دبی)

۱ــ۲ــ۴ــ روش جابه‌جایی مثبت[۲]

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

۱ــ Flow rate

۲ــ 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 آن‌جا دبی میانگین به سهولت محاسبه می‌شود.

۲ــ۲ــ۴ــ روش انسداد جریان[۱]

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 :

۱ــ ونتوری مترها

۲ــ اری فیس مترها

۳ــ شیپوره‌ها (نازل‌ها)

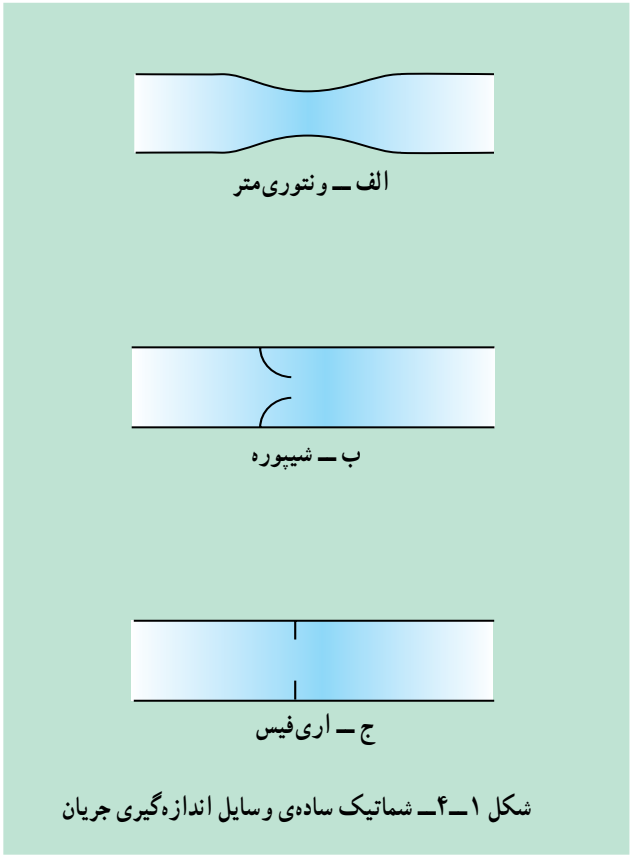
الف ــ ونتوری متر[۲] :

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

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

۲ــ یک قسمت مخروطی همگرا.

۳ــ یک گلوگاه استوانه‌ای.



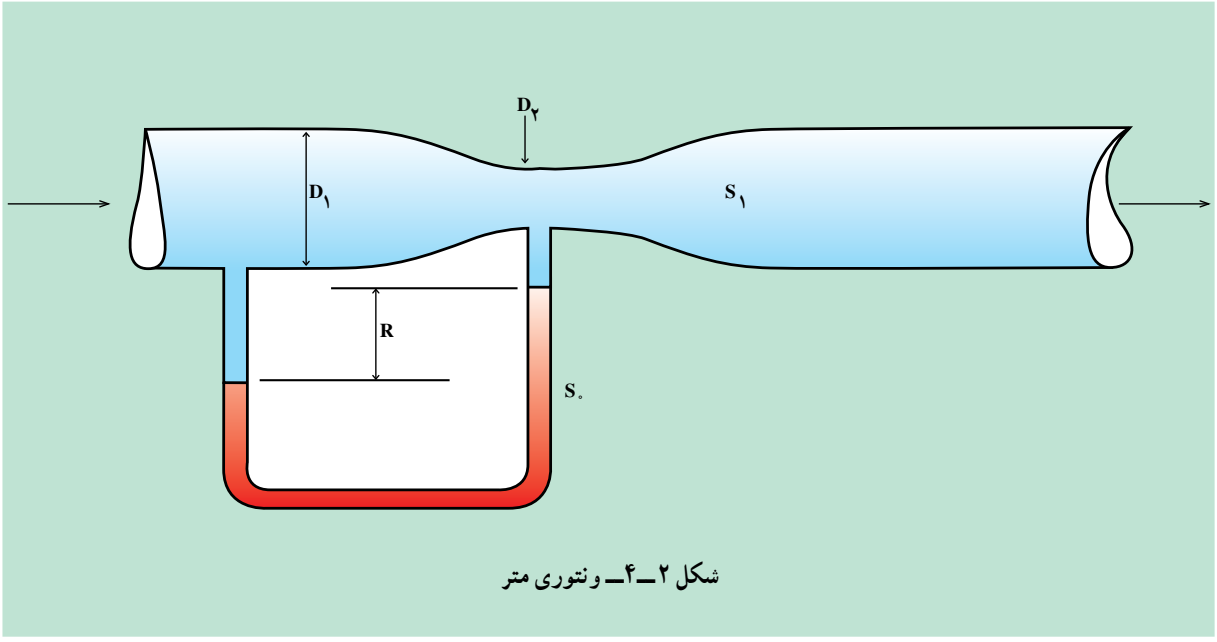
شکل ۱ــ۴ــ شماتیک ساده‌ی وسایل اندازه‌گیری جریان

۱ــ Flow Obstruction ۲ــ Venturimeter

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

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

۶ ــ یک مانومتر دیفرانسیلی که یک سر آن به بخش بالا دست و یک سر آن به گلوگاه متصل است. اندازه‌ی ونتوری‌متر با قطر لوله و گلوگاه آن مشخص می‌شود ؛ برای مثال، ونتوری‌متر ۶ در ۴ سانتی‌متر، یعنی قطر لوله ۶ سانتی‌متر و قطر گلوگاه ونتوری متر ۴ سانتی‌متر است. برای به‌دست آوردن نتیجه‌ی دقیق، باید طول ونتوری‌متر حداقل ده برابر قطر لوله باشد. در شکل ۲ــ۴ یک ونتوری‌متر را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲ــ۴ــ ونتوری متر

مطالعه‌ی آزاد

ـ اندازه‌گیری جریان به وسیله‌ی ونتوری متر:

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

$$Q = C.A_2\sqrt{\frac{2gR.(S_0/S_1).1.}{1.(D_2/D_1)^4}} \qquad (1)$$

در این معادله هر پارامتر چنین تعریف می‌شود :

Q = دبی، شدت جریان، m^3/s

C * = ضریب انقباض ونتوری متر

R ** = اختلاف سطح هیدرولیکی(m)

S_0 = چگالی نسبی مایع درون مانومتر

S_1 = چگالی نسبی سیال درون لوله

A_2 = سطح مقطع گلوگاه، m^2

D_2 = قطر گلوگاه ، m

D_1 = 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 ــ اندازه‌گیری جریان به وسیله‌ی نازل[1]:

نازل جریان ــ مطابق شکل ۳ــ۴ ــ 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

$$Q = C A_{۲} \sqrt{\frac{۲ . P}{\rho}} \qquad (۲)$$

در این رابطه، پارامترها عبارت‌اند از :

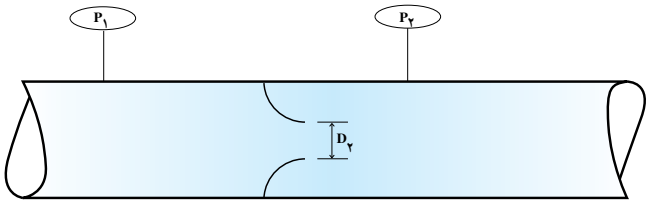
Q = دبی جریان ، $m^{۳}/s$

C * = ضریب انقباض نازل

$A_{۲}$ = سطح مقطع نازل، $m^{۲}$

P . = اختلاف فشار دو سر نازل، Pa

ρ . = چگالی سیال، $kg/m^{۳}$



شکل ۳ــ۴ــ نازل جریان

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

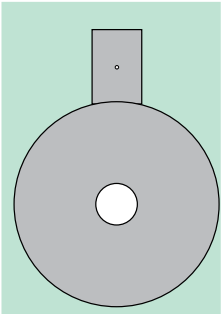
ج ــ اندازه‌گیری جریان به وسیله‌ی اری فیس متر[2]:

اری فیس‌ها صفحات مدوّری هستند که روی آن‌ها سوراخی تعبیه شده است. همانند نازل‌ها این سوراخ به‌صورت گلوگاه است که سبب اختلاف فشار دوسر آن خواهد شد. در شکل ۴ــ۴ یک اری فیس‌متر نشان داده شده است. جنس اری فیس از فولاد زنگ نزن[3] است.

۱ــ Nozzle ۲ــ Orificemeter ۳ــ Staniless Steel (316)

صفحه‌های اری فیس را میان دو فلنج مخصوص اری‌فیس‌ها و بین دو لایه‌ی غیرفلزی[1] قرار می‌دهند ؛ به گونه‌ای که سوراخ آن کاملاً در مرکز مقطع لوله‌ی اصلی قرارگیرد و به‌وسیله‌ی 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 :



شکل ۴ــ۴ــ اری فیس

مطالعه‌ی آزاد

$$Q = C A_{۰} \sqrt{۲gR\left(\frac{S_{۰}}{S} - ۱\right)} \qquad (۳)$$

بر این اساس :

Q = دبی، شدت جریان سیال، $m^{۳}/s$.

C = ضریب تخلیه‌ی اری فیس

R= اختلاف سطح هیدرولیکی

$S_{۰}$ = چگالی نسبی مایع مانومتر

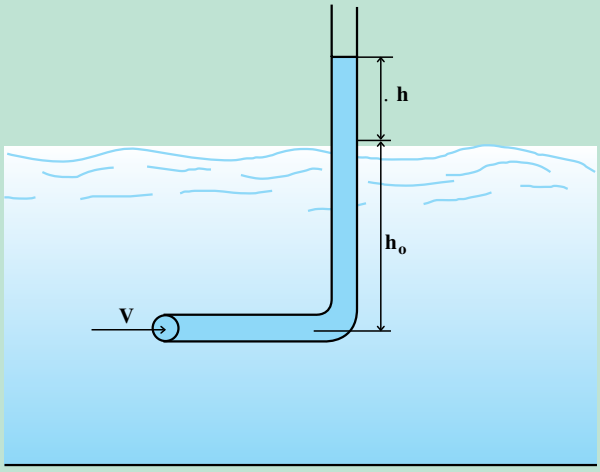
$S_{۱}$ = چگالی نسبی سیال لوله

$A_{۰}$ = سطح مقطع سوراخ اری فیس، $m^{۲}$

۱ــ Gao Kat

۳ــ۲ــ۴ــ اندازه‌گیری دبی به‌وسیله‌ی لوله‌ی پیتوت

استفاده از لوله‌ی پیتوت یکی از دقیق‌ترین روش‌های اندازه‌گیری سرعت می‌باشد. در شکل ۵ ــ۴ یک لوله‌ی شیشه‌ای که با زاویه‌ی ۹۰ خم شده و برای اندازه‌گیری سرعت در یک کانال باز به‌کار برده شده است، نشان داده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود دهانه‌ی لوله در مسیر جریان قرار گرفته است.



شکل ۵ــ۴ــ لوله‌ی پیتوت در مسیر جریان

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

$$V = \sqrt{2g.\ h} \qquad (۵)$$

که در رابطه‌ی فوق

g = شدت جاذبه، m/s^2

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.

$$Q = V \times A \qquad (۶)$$

که در معادله‌ی فوق،

Q = دبی، m^3/s

V = سرعت، m/s

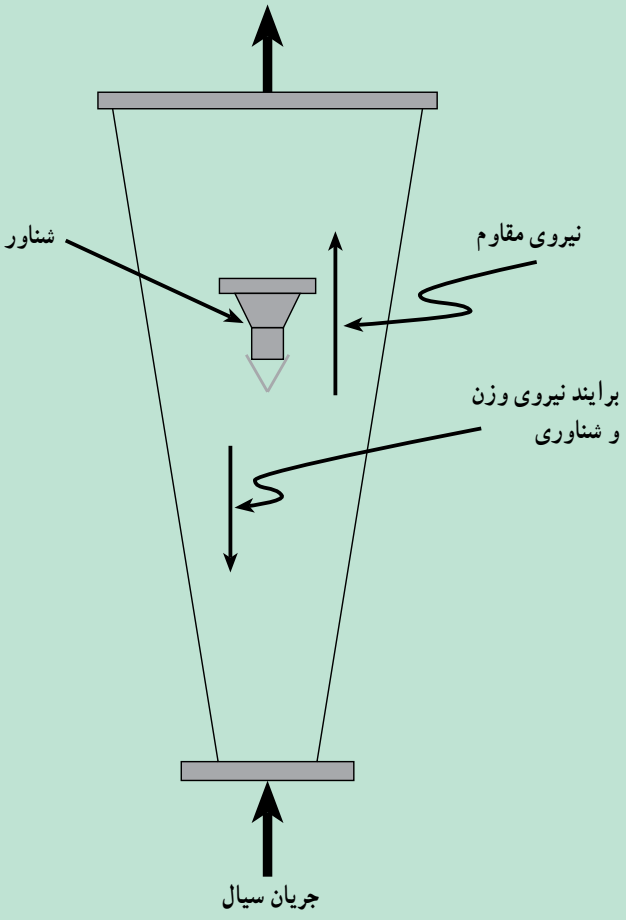
A = سطح کانال، m^2

۴ــ۲ــ۴ــ اندازه‌گیری دبی به‌وسیله‌ی اثرات نیروی مقاوم

الف ــ روتامتر[1]:

ساده‌ترین وسیله در این روش روتامتر است. روتامتر به‌صورت عمودی در مسیر جریان قرار می‌گیرد. جریان سیال از پایین وارد لوله‌ی مخروطی قائم شده باعث می‌شود شناور به‌طرف 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. درشکل۶ــ۴ روتامترها را مشاهده می‌کنید.

شکل ۶ ــ۴ــ ب ــ روتامتر با ظرفیت‌های مختلف



شکل ۶ ــ۴ــ الف ــ شماتیک روتامتر

۱ــ Rotameter

ب ــ اندازه‌گیری شدت جریان (دبی) به‌وسیله‌ی 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، به‌صورت لیتر بر دقیقه یا گالن بر دقیقه برای مایعات، و فوت مکعب یا مترمکعب در ساعت برای گازها درجه‌بندی شده‌اند.

۳ــ۴ــمقایسه‌ی وسایل اندازه‌گیری جریان (ونتوری‌متر و اری فیس‌متر)

۱ــ۳ــ۴ــ ونتوری متر

الف ــ سطح داخلی لوله‌ی ونتوری صاف و صیقلی و از فلز مقاوم ساخته می‌شود.

ب ــ ساخت و تعمیرات و نگه‌داری این وسیله وقت‌گیر و هزینه‌بردار است.

۲ــ۳ــ۴ــ اری‌فیس‌متر

الف ــ تهیه، بازدید و نصب و تغییرات در نوع اری‌فیس آسان و کم‌هزینه است.

ب ــ اری فیس افت فشار دایم بیش‌تری نسبت به ونتوری‌متر دارد.

ج ــ بر اثر اصطکاک و برخورد با مواد سنگین و خورنده، لبه‌های روزنه اری فیس کنده شده از این رو محاسبات اولیه را با خطا همراه می‌سازد.

۴ــ۴ــ آزمایش: محاسبه‌ی میزان دبی و نوع جریان

اهداف

۱ــ اندازه‌گیری شدت جریان به‌روش مستقیم ؛

۲ــ اندازه‌گیری شدت جریان و اثرات افت فشار ؛

۳ــ مفهوم ضریب اصطکاک[۱] ؛

۴ــ مفهوم جریان آرام[۲] و آشفته[۳].

اجزای تشکیل دهنده‌ی دستگاه (شکل ۸ ــ ۴) عبارت‌اند از :

۱ــ تانک ذخیره‌ی آب.

۲ــ شیر فلکه‌ای، دو عدد.

۳ــ لوله‌ی مسی به قطر ۴/۵ میلی‌متر (لوله‌ی آلومینیومی هم توصیه می‌شود).

۴ــ یک استوانه‌ی مدرّج.

۵ــ دو لوله‌ی مویین به‌صورت پیزومتری.

تئوری انجام آزمایش:

سیّالات با سرعت‌های کم معمولاً در محدوده‌ی جریان آرام هستند. برای درک جریان آرام یک اصطلاح را تعریف می‌کنیم.

۱ــ Friction Factor

۲ــ Laminar flow

۳ــ Turbulent flow

عدد رینولدز[1]:

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

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

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

جریان آرام: هرگاه عدد رینولدز از رقم ۲۰۰۰ کم‌تر باشد، جریان را «آرام» می‌نامیم.

جریان آشفته: سیّالات با عدد رینولدز بیش از ۴۰۰۰ را «جریان آشفته» می‌گویند.

جریان گذرا[2]: 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

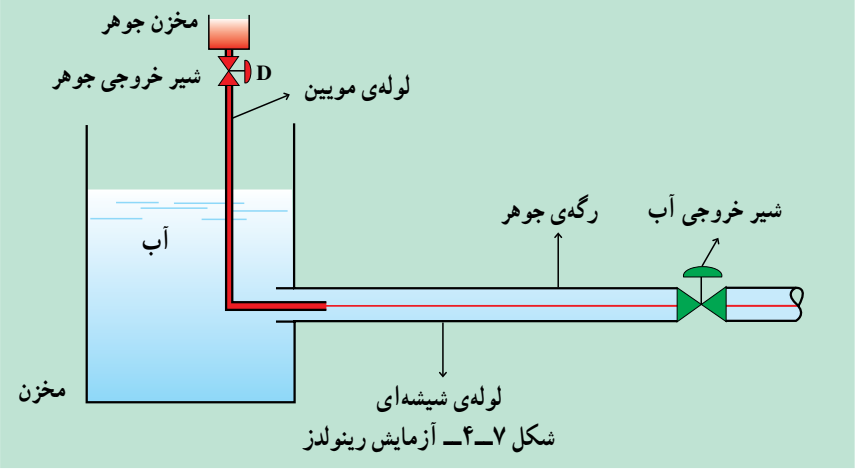
وسایل موردنیاز برای انجام این تحقیق مطابق شکل ۷ــ۴ عبارت‌اند از :

۱ــ مخزن شیشه‌ای

۲ــ لوله‌ی مویین و مخزن جوهر

۳ــ لوله‌ی شیشه‌ای خروجی از مخزن

۴ــ شیرهای قطع و وصل جریان



شکل ۷ــ۴ــ آزمایش رینولدز

۱ــ Reynolds Number ۲ــ Transition Flow

روش انجام تحقیق

۱ــ مخزن را از آب پر کنید.

۲ــ جوهر را درون مخزن بریزید.

۳ــ شیر خروجی آب را کمی باز کنید.

۴ــ شیر خروجی جوهر را باز کنید.

۵ ــ نوع جریان را درون لوله مشاهده نمایید.

۶ ــ این آزمایش را در دبی‌های مختلف انجام دهید.

۷ــ مشاهدات خود را شرح دهید.

۸ ــ به‌ازای دبی‌های مختلف عدد رینولدز را محاسبه کنید.

تغییرات رژیم جریان براثر 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 : $۸/۹۴ \quad ۱۰^{-۴}\ (Pa.s)$

دانسیته‌ی آب : $۹۹۷/۱ (kg/m^۳)$

۵ــ۴ــ آزمایش: محاسبه‌ی ضریب اصطکاک در جریان آرام

معمولاً برای جریانات آرام از این رابطه استفاده می‌شود :

$$\text{ضریب اصطکاک} = \frac{۶۴}{\text{عدد رینولدز}}$$

$$f = \frac{۶۴}{Re\ No}$$

مراحل آزمایش (شکل ۸ ــ ۴):

۱ــ ابتدا شیرهای $V_۱$ و $V_۲$ را ببندید و تانک را از آب پر کنید.

۲ــ شیر $V_۱$ را باز کرده $V_۲$ را هم چنان بسته نگاه دارید.

۳ــ شیر $V_۲$ را به آرامی باز کنید (پس از گذشت چند ثانیه جریان به‌صورت پایدار[۱] درخواهد آمد).

۱ــ Steady State

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

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

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

۷ــ جدول ۱ــ۴ را تکمیل نموده ضریب اصطکاک را بیابید.

۶ــ۴ــ محاسبه‌ی تغییرات ویسکوزیته‌ی سیال بر اثر تغییرات دما

تئوری آزمایش

در محدوده‌ی جریان آرام ($R_e < ۲۰۰۰$) بر اساس رابطه‌ی زیر می‌توان اثر دما را بر ویسکوزیته‌ی سیّال پیدا کرد. از این رابطه می‌توان ویسکوزیته‌ی سیال را در محدوده‌ی جریان آرام پیدا کرد.

$$\text{ویسکوزیته} = \frac{(\text{قطر لوله})^4 (\text{عدد پی}) (\text{اختلاف فشار})}{(\text{طول لوله}) (\text{دبی}) (۱۲۸)}$$

$$\mu = \frac{\Delta P . \pi . D^4}{۱۲۸ . Q . L}$$

(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 ــ ۴):

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

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

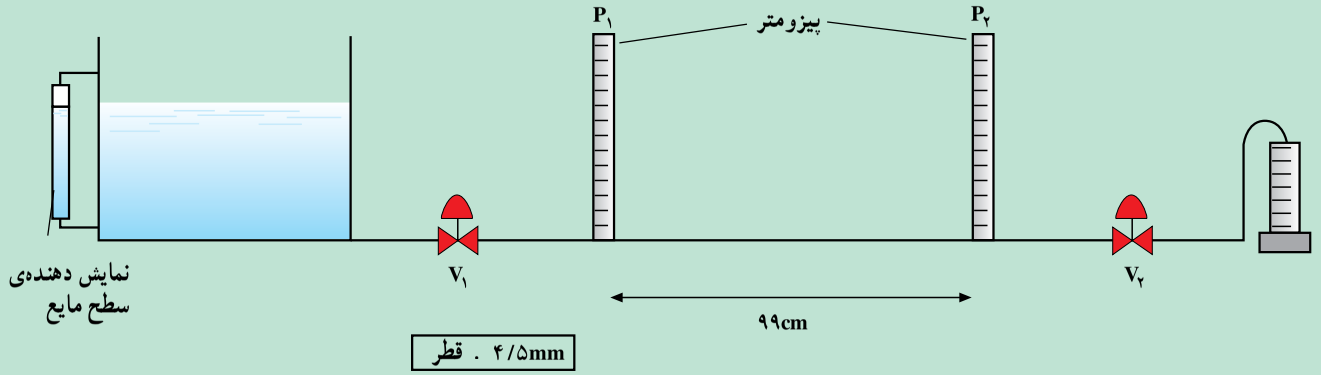
۳ــ به‌وسیله‌ی یک المنت برقی مجهز به ترموستات آب را تا ۴۰ درجه‌ی سلسیوس گرم کنید.

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

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

۶ــ مراحل «۳» الی «۵» را برای دماهای ۴۵ C، ۵۰ C، ۵۵ C و ۶۰ C تکرار نمایید.

۷ــ جدول ۲ــ۴ را تکمیل کنید در دماهای مختلف ویسکوزیته‌ی سیال را پیدا نمایید.



شکل ۸ــ۴ــ آزمایش جریان آرام

جدول ۱ــ۴

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

جدول ۲ــ۴

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

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

۷ــ۴ ــ آزمایش: اندازه‌گیری جریان سیالات به‌وسیله‌ی اری فیس و ونتوری

این دستگاه (شکل۹ــ۴) متشکل است از :

۱ــ تانک ذخیره‌ی آب

۲ــ پمپ گریز از مرکز

۳ــ اری فیس‌متر

۴ــ ونتوری متر

۵ــ مانومتر جیوه‌ای

مراحل آزمایش:

۱ــ با اجازه‌ی مربی دستگاه را روشن کنید.

۲ــ شیر M . ۱A و M . ۱B را باز کنید.

۳ــ شیر M . ۲A و M . ۲B را باز کنید.

۴ــ اختلاف فشار را از طریق مانومتر بخوانید.

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

۶ــ جدول ۳ــ۴ را پر کنید و ضریب تخلیه‌ی اری فیس را پیدا کنید.

روابط :

$$\text{دبی} = (\text{ضریب تخلیه})\ (\text{سطح مقطع اری‌فیس})\ \sqrt{\frac{(\text{اختلاف فشار})^{۲}}{\text{چگالی}}}$$

$$= C.A_{۰}.\sqrt{\frac{۲.P}{\rho}}$$

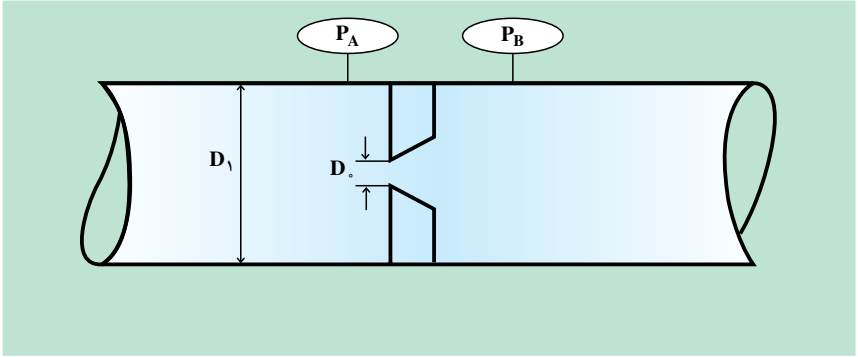
ضریب تخلیه = C

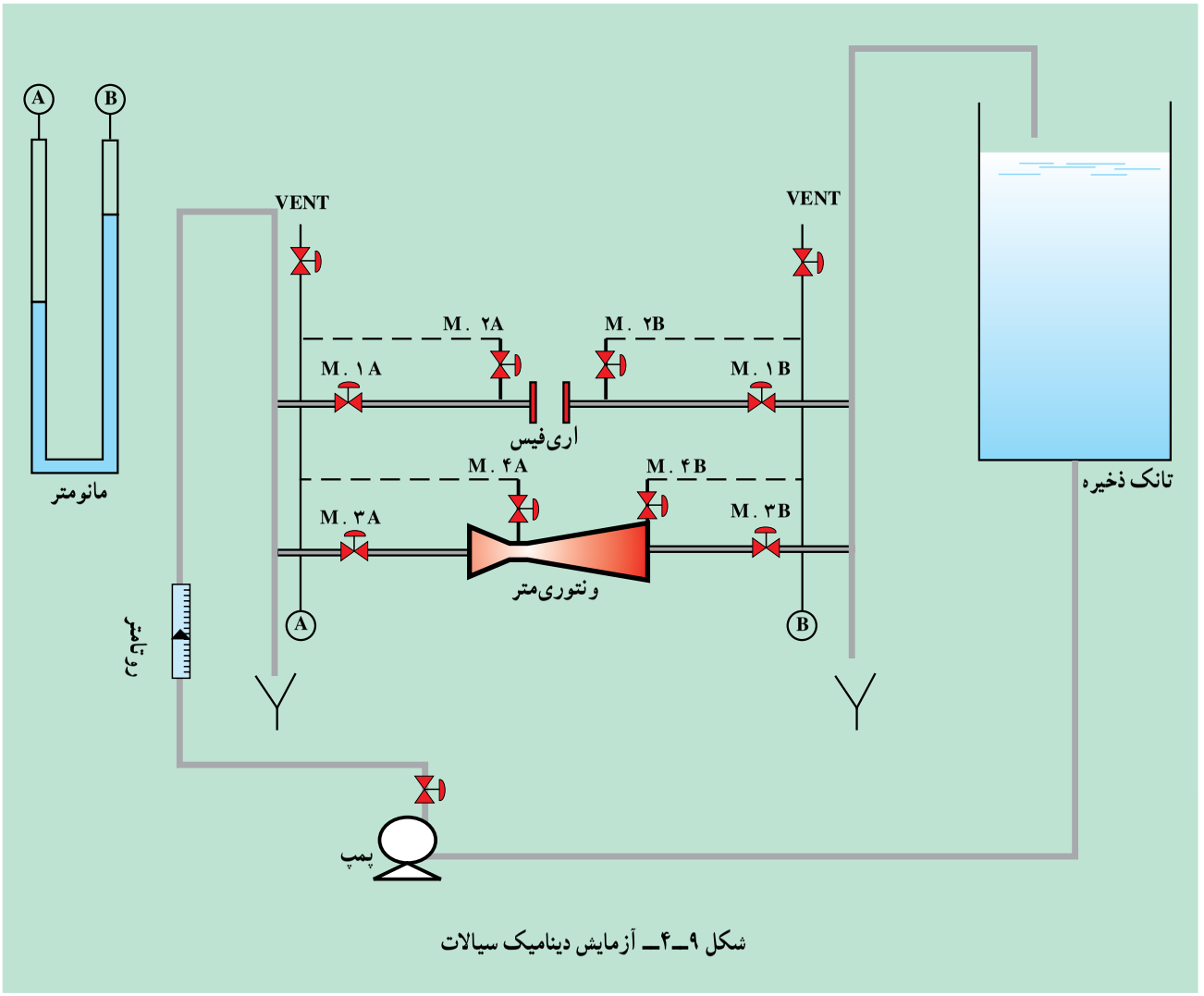
بنابراین :

سطح مقطع اری فیس $A_{۰} = . \ D^{۲}/۴ =$

اختلاف فشار $. P = P_A \ . \ P_B =$

چگالی آب $\rho =$





شکل ۹ــ۴ــ آزمایش دینامیک سیالات

جدول ۳ــ۴

C ضریب تخلیه اری فیس	P .	$P_۲$	$P_۱$	Q

آزمایش ونتوری

۱ــ شیر M . ۳A و M . ۳B را باز کنید.

۲ــ شیر M . ۴A و M . ۴B را باز کنید.

۳ــ اختلاف فشار را از طریق مانومتر بخوانید.

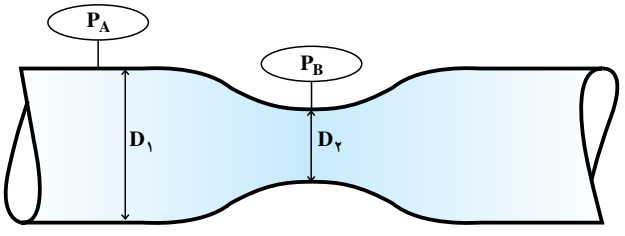
۴ــ دبی را تغییر داده دوباره اختلاف فشار را بخوانید.

۵ــ جدول ۴ــ۴ را پر کرده ضریب تخلیه‌ی ونتوری را پیدا کنید.

روابط :

$$\text{دبی} = (\text{ضریب تخلیه})\ (\text{سطح مقطع ونتوری})\ \sqrt{\frac{\text{اختلاف فشار} \cdot (\text{شدت جاذبه})\ (۲)}{\text{شدت جاذبه چگالی} \cdot \left(۱ \cdot \left(\frac{\text{قطر ونتوری}}{\text{قطر لوله}}\right)^{۴}\right)}}$$

$$Q = C.A_{۲} \cdot \sqrt{\frac{۲g\left(\frac{P}{\cdot}\right)}{۱ \cdot \left(\frac{D_{۲}}{D_{۱}}\right)^{۴}}}$$



جدول ۴ــ۴

C ضریب مانومتر	. P	$P_۲$	$P_۱$	Q

خود آزمایی

۱ــ دبی یا شدت جریان را تعریف کنید.

۲ــ روش‌های اندازه‌گیری دبی را نام ببرید.

۳ــ ساختمان یک ونتوری متر از چه بخش‌هایی تشکیل شده است؟

۴ــ روتامتر را شرح دهید.

۵ــ مزایا و معایب ونتوری‌متر و اری فیس را نام ببرید.

۶ــ فرق جریان آرام و آشفته را توضیح دهید.

فصل پنجم

پمپ‌ها و کمپرسورها

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

۱ــ ساختمان و عملکرد پمپ گریز از مرکز را توضیح دهد.

۲ــ توان الکتریکی پمپ را محاسبه نماید.

۳ــ توان فرآیندی پمپ را محاسبه کند.

۴ــ راندمان پمپ را محاسبه نماید.

۵ــ منحنی شدت جریان سیّال و هد[۱] پمپ را رسم کند.

۶ــ با کمپرسورهای گریز از مرکز آشنا شود (آموزش با فیلم).

۱ــ۵ــ مقدمه

۱ــ۱ــ۵ــ پمپ

به‌طور کلی پمپ‌ها دستگاه‌هایی هستند که انرژی مکانیکی را از موتور گرفته آن را به‌مایع 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[۲] است.

۲ــ۱ــ۵ــ پمپ گریز از مرکز

این پمپ از یک پروانه[۳] (چرخ پره‌دار) تشکیل شده که محور دوران موتور به آن متصل است و آن را می‌چرخاند. در شکل ۱ــ۵ 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.

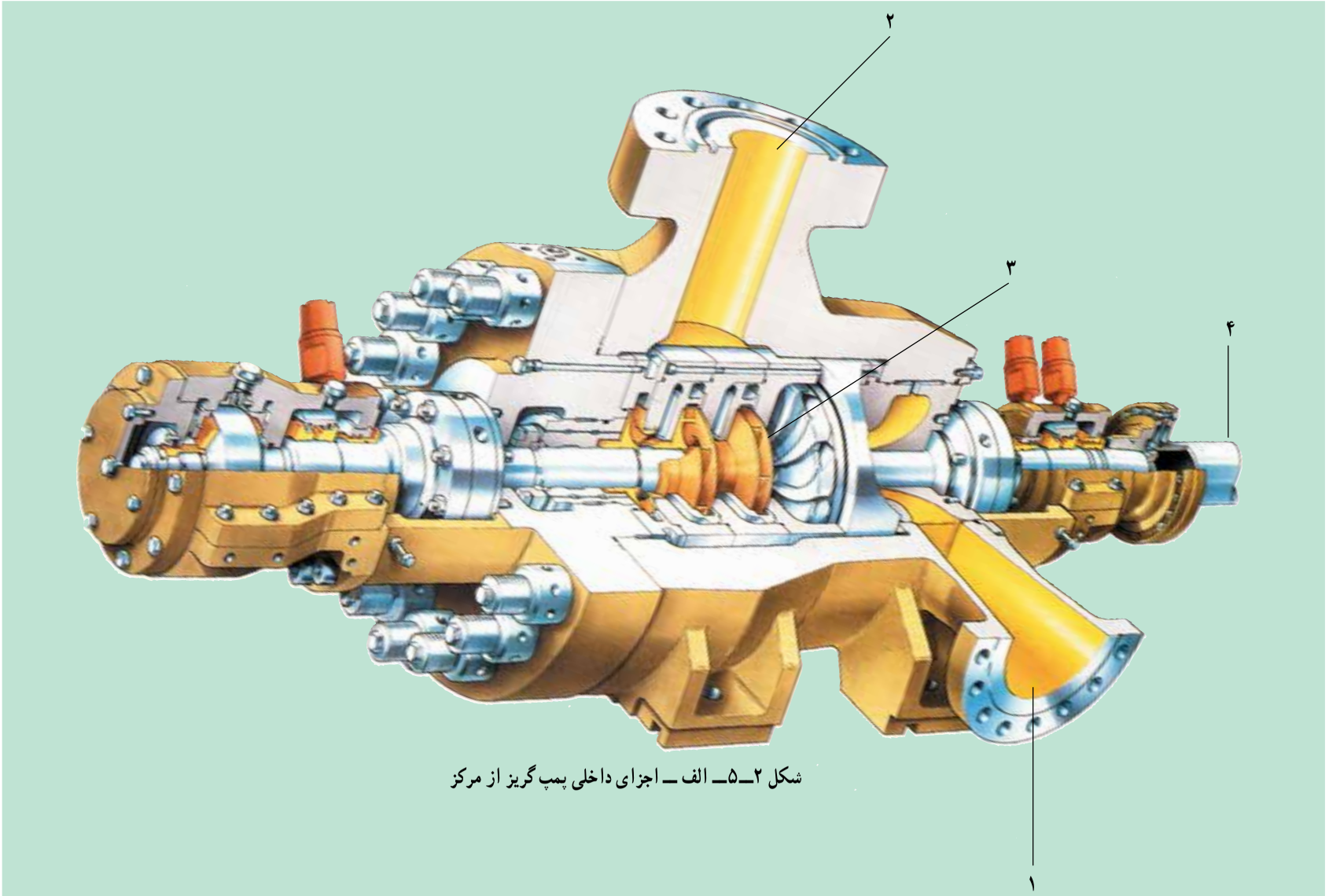
۱ــ در اینجا منظور ارتفاع آبدهی است :Pump Head

۲ــ Centrifugal pump

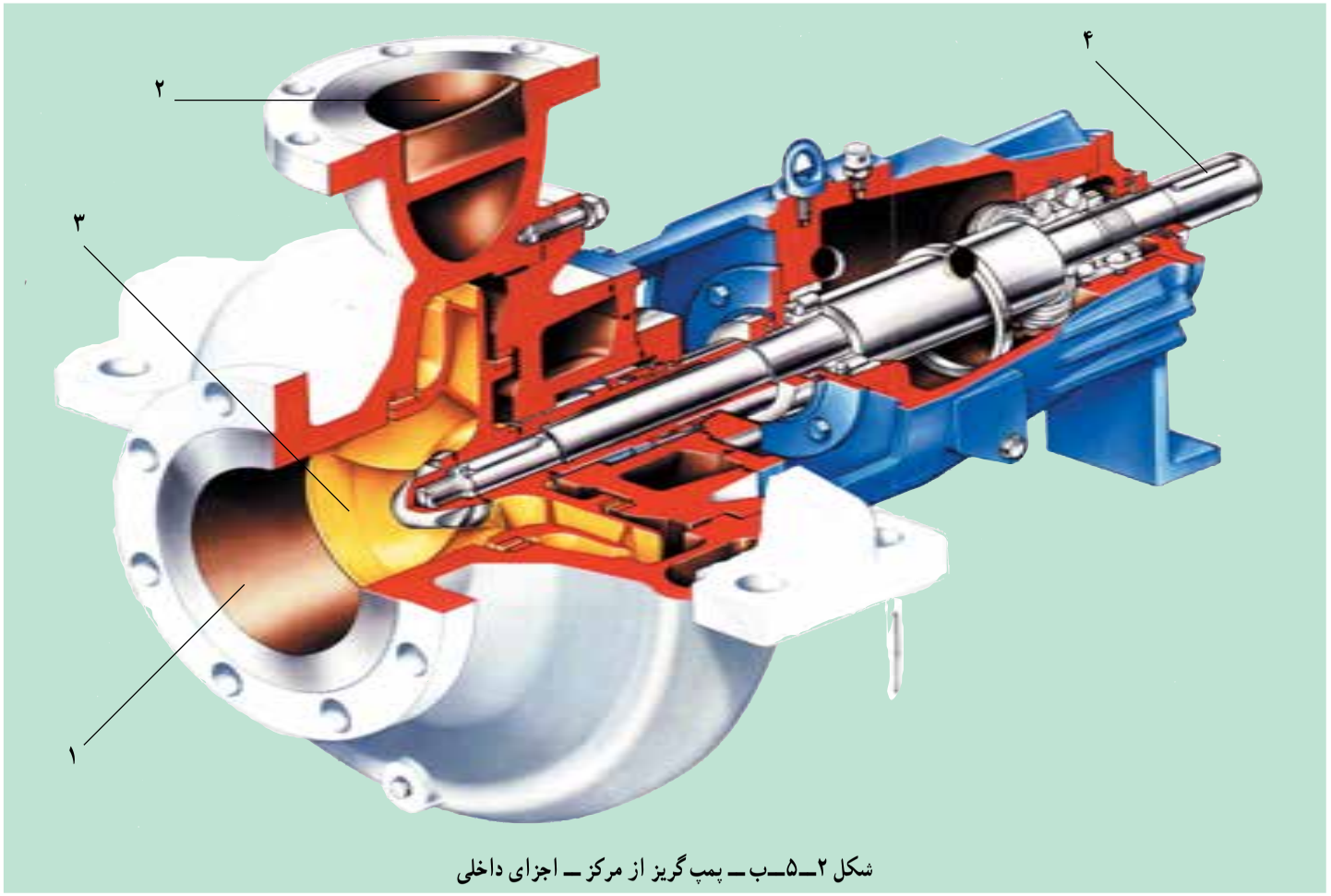
۳ــ Impeler

شکل ۱ــ۵ــ 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 **۲ــ۵** ساختمان یک پمپ گریز از مرکز را نمایش می‌دهد.



شکل ۲ــ۵ــ الف ــ اجزای داخلی پمپ گریز از مرکز



شکل ۲ــ۵ــب ــ پمپ گریز از مرکز ــ اجزای داخلی

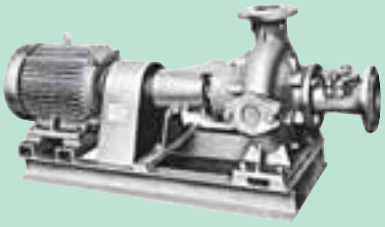
اجزای شکل ۲ــ۵ــ الف و ب

شماره‌ی قطعه	نام
۱	ورودی پمپ[۱] (مکش)
۲	خروجی پمپ[۲] (تخلیه)
۳	پروانه‌ی پمپ[۳]
۴	محور پمپ[۴]

بدین ترتیب، هر پمپ دارای دو لوله‌ی ورودی و خروجی است که به‌ترتیب «لوله‌های مکش[۵]» و «لوله‌های رانش[۶]» (تخلیه) خوانده می‌شوند. هم‌زمان با خارج شدن مایع در امتداد پره‌ها، در قسمت میانی چرخ، خلأ به وجود آمده لذا مایع پی در پی به قسمت مکش پمپ وارد خواهد شد.

جمع‌بندی

به وسیله‌ی پروانه‌ی موجود در پوسته‌ی پمپ قطرات مایع از مرکز به خارج یعنی پوسته‌ی پمپ پرتاب می‌شوند ؛ از این رو فشار سیّال افزایش می‌یابد. نیروی محرکه‌ی پروانه‌ی پمپ به‌وسیله‌ی موتور الکتریکی یا توربین ایجاد می‌شود. در شکل ۳ــ۵ پمپ متصل به موتور الکتریکی را مشاهده می‌کنید.



شکل ۳ــ۵ــ پمپ متصل به موتور الکتریکی

۱ــ Pump Suction ۲ــ Pump Discharge ۳ــ Pump Impller
۴ــ Pump Shaff ۵ــ Suction ۶ــ Discharge Lift

۲ـ۵ـ محاسبه‌ی توان الکتریکی پمپ[۱]

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

(۱) توان الکتریکی = (ولتاژ) . (آمپر) . cos .

P الکتریکی = V.I. Cos.

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

۳ـ۵ـ محاسبه‌ی توان فرآیندی پمپ[۲]

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

(شدت جاذبه) × (چگالی) × (ارتفاع آب‌دهی) × (شدت جریان سیال) = توان فرآیندی

(۲) P فرآیندی . Q.hp. . .g

بر اساس این رابطه :

Q = شدت جریان (دبی) ، m^3/s

hp = ارتفاع آب‌دهی (هدپمپ)، m

. = چگالی ، kg/m^3

g= شدت جاذبه ، m/s^2

P =توان ، W، وات

۱ـ Electrical power ۲ـ Process power

۴ــ۵ــ راندمان کلی پمپ[۱]

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 :

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

$$\eta = \frac{P \text{ فرآیندی}}{P \text{ الکتریکی}} = \frac{Q.hp..g}{V.I.Cos\ .}$$

۵ــ۵ــ حفره زایی در پمپ[۲]

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. به‌عبارت دیگر، در این بخش مایع به غلیان درخواهد 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.

به‌طور کلی هنگامی پمپ‌ها در وضعیت عادی کار می‌کنند که فشار مطلق در لوله‌ی مکش بسیار پایین نباشد ؛ در غیر این‌صورت، 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

۱ــ Efficiency

۲ــ Cavitation = کاویتاسیون

از بین بردن کاویتاسیون باید فشار ورودی به پمپ را افزایش دهیم. به همین دلیل، می‌توان 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، می‌توان از بروز پدیده‌ی کاویتاسیون جلوگیری کرد.

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

۶ــ۵ــ آزمایش: پمپ گریز از مرکز

هدف: آشنایی فراگیران با ساختمان و عملکرد پمپ و محاسبات فرآیندی

ساختمان دستگاه از این بخش‌ها تشکیل شده است :

۱ــ پمپ گریز از مرکز.

۲ــ تانک ذخیره آب.

۳ــ اندازه‌گیری جریان آب.

۴ــ شیر دروازه‌ای.

۵ــ دو عدد فشارسنج.

۶ــ لوله‌های رابط و اتصالات مورد نیاز.

۷ــ تابلوی الکتریکی حاوی ولت متر و آمپرمتر.

روش آزمایش:

۱ــ با تنظیم شیر دبی‌های مختلفی را اندازه‌گیری کنید.

۲ــ در هر دبی ایجاد شده فشارهای ورودی و خروجی را بخوانید و اختلاف فشار برای هر شدت جریان را محاسبه نمایید.

۳ــ در هر دبی ایجاد شده ولتاژ و آمپر را بخوانید و توان الکتریکی را محاسبه نمایید.

۴ــ توان فرایندی را بامعادله‌ی ۲ محاسبه نمایید. سپس با استفاده از رابطه‌ی ۳ راندمان را به‌دست آورید.

۵ــ جدول ۱ــ۵ را تکمیل نمایید.

۶ــ ارتفاع آب‌دهی (هد پمپ) را برحسب دبی رسم کنید.

۷ــ راندمان را برحسب دبی رسم کنید.

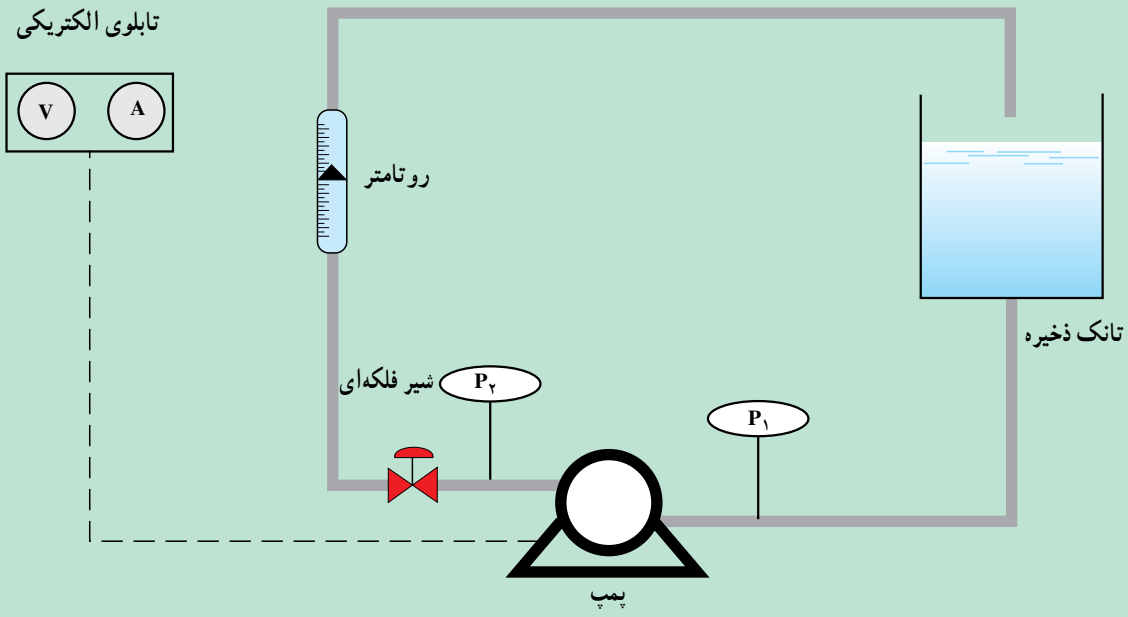
۸ــ با استفاده از نمودارها، نتیجه بگیرید در کدام هِد و دبی، پمپ ماکزیمم راندمان را دارد.

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

جدول ۱ــ۵

راندمان	توان‌فرآیندی Pe.	توان الکتریکی V.I.cos .	آمپر I	ولتاژ V	هد پمپ hp	اختلاف فشار $P_۲ . P_۱$	فشار خروجی $P_۲$	فشار ورودی $P_۱$	شدت جریان Q

(شکل ۴ــ۵ مربوط به دستگاه آزمایش است.)

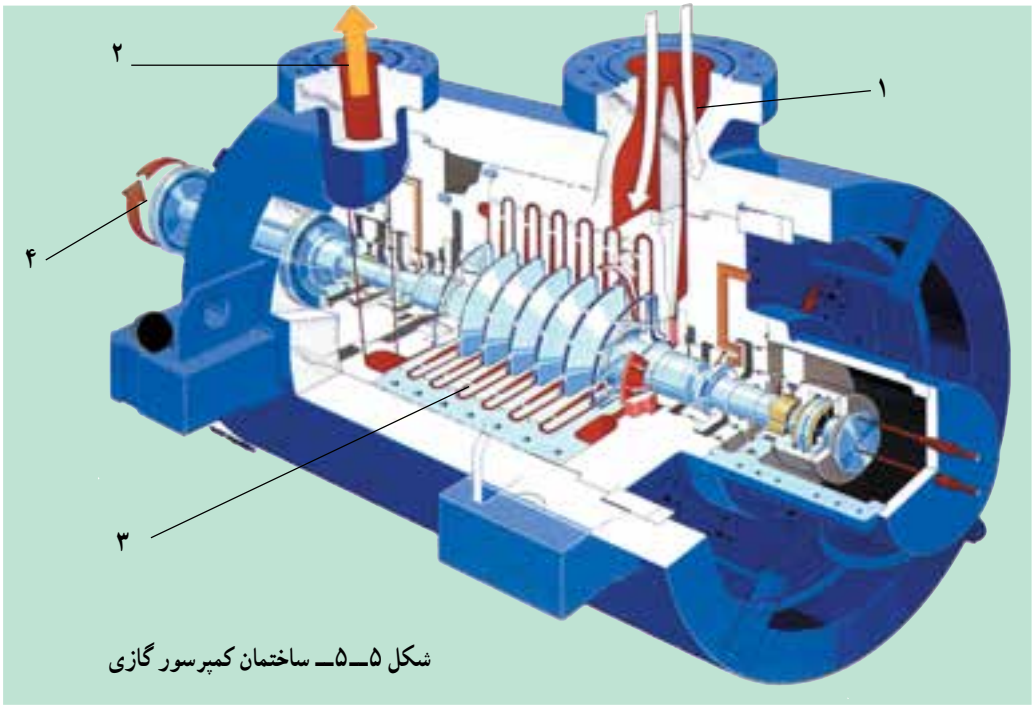


شکل ۴ــ۵ــ آزمایش پمپ گریز از مرکز

۷ــ۵ــ کمپرسور[1]های 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 ۵ــ۵ ساختمان کمپرسور گازی نشان داده شده است.



شکل ۵ــ۵ــ ساختمان کمپرسور گازی

اجزای کمپرسور گازی

شماره‌ی قطعه	نام
۱	ورودی کمپرسور[2]
۲	خروجی کمپرسور[3]
۳	تیغه‌های کمپرسور[4]
۴	محور کمپرسور[5]

۱ــ Compressor ۲ــ Inlet line ۳ــ Outlet line
۴ــ Blades ۵ــ Shaft

۱ــ۷ــ۵ــ عمل‌کرد کمپرسور

گاز با فشارجو پس از عبور از فیلترهای تعبیه شده روی کمپرسور به‌داخل آن هدایت می‌شود. همانند عمل‌کرد سیّال در پمپ‌های گریز از مرکز، گاز نیز بر اثر برخورد با تیغه‌های کمپرسور متراکم می‌شود. این گاز را براساس مصارف گوناگون از کمپرسور خارج می‌کنند. در شکل ۶ــ۵ یک نوع کمپرسور را مشاهده می‌کنید.

شکل ۶ــ۵ــ کمپرسور مورد استفاده در صنایع شیمیایی

به‌هنگام متراکم شدن گاز، دمای آن افزایش می‌یابد ؛ از این‌رو، کمپرسورها را چند مرحله‌ای می‌سازند و پس از هر مرحله، افزایش فشار یک خنک‌کن میانی در نظر گرفته می‌شود تا در فرآیند فشار ثابت، دمای گاز را کاهش دهد. در شکل ۷ــ۵ نمونه‌های متعددی از استفاده‌ی کمپرسور در صنایع، نشان داده شده است.

شکل ۷ــ۵ــ الف ــ کمپرسور تولید هوای فشرده

شکل ۷ــ۵ــ ب ــ تولید کاغذ و خمیر کاغذ

شکل ۷ــ۵ــ ج ــ کمپرسور استفاده شده در سیستم سردسازی

شکل ۷ــ۵ــ د ــ کمپرسور صنایع آهن و استیل

۸ ــ ۵ ــ کمپرسورهای هوا

کمپرسورهای هوا در طرح‌های متنوع ازجمله پیستونی و توربینی کاربرد فراوانی دارند (شکل ۷ــ ۵ ــ الف).

۱ــ ۸ ــ۵ ــ کمپرسورهای توربینی

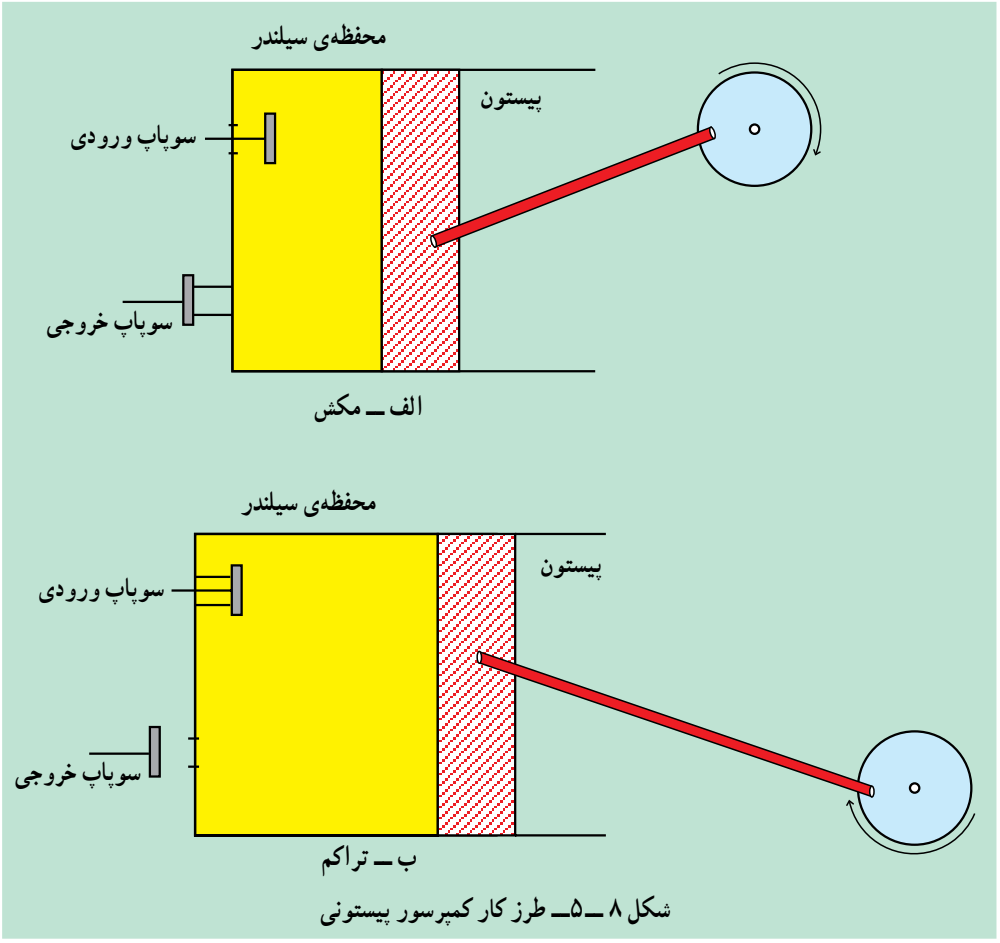
کاربرد صنعتی کمپرسورهای توربینی در مواردی است که به خروجی بسیار زیاد نیاز باشد، مانند معادن، کوره‌های ریخته‌گری و ... به‌صورت تقریبی برای تأسیساتی که تا ۱۰۰۰۰۰ فوت مکعب ظرفیت دارند. یعنی اینکه این حجم هوای فشرده نیاز دارند (شکل ۷ــ ۵ ــ د).

۲ــ ۸ ــ ۵ ــ 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 به‌وسیله‌ی هوا تحریک می‌شوند. انواع تک سیلندری دو، سه و چهارسیلندری این نوع کمپرسورها کاربرد فراوانی دارند.

۱ــ۲ــ ۸ ــ ۵ ــ *طرز کار کمپرسورهای پیستونی:*

مطابق شکل ۸ ــ ۵ 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.



شکل ۸ ــ۵ــ طرز کار کمپرسور پیستونی

۲ــ۲ــ۸ ــ ۵ ــ ظرفیت کمپرسور:

ظرفیت واقعی یک کمپرسور به‌صورت 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 ۱۰۰ می‌باشد یعنی ۱۰۰ فوت مکعب در دقیقه هوای آزاد در شرایط فشار و درجه حرارت محیط به داخل کمپرسور مکیده شده و تا حد موردنیاز متراکم می‌شود.

۳ــ ۸ ــ ۵ ــ تراکم چند مرحله‌ای

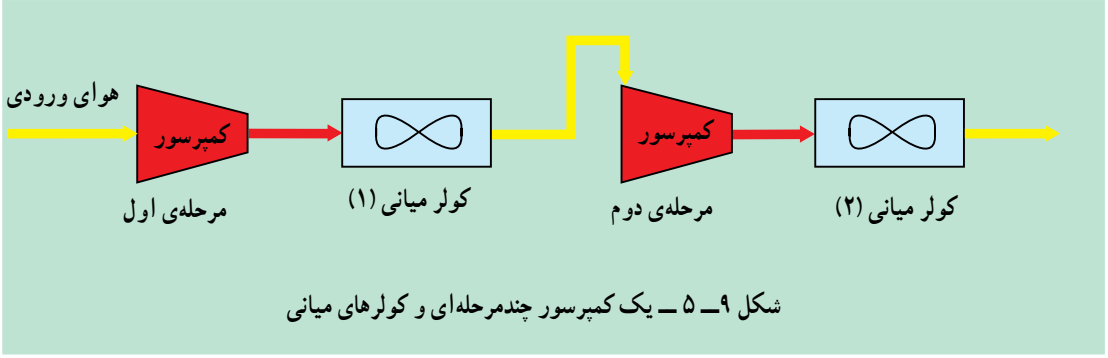
تراکم می‌تواند در یک یا چند مرحله انجام گیرد. اگر تراکم‌هوای اتمسفر ورودی به فشار مورد نظر در یک سیلندر صورت گیرد، تراکم را یک مرحله‌ای گویند. در کمپرسورهای یک مرحله‌ای برای هوای خیلی کم (در حدود ۵ فوت مکعب در دقیقه) فشار تراکم ممکن است تا حد ۱۵۰ Psig برسد اما معمولاً تراکم یک مرحله‌ای به فشار ۱۰۰ Psig محدود می‌شود.

اگر بخواهیم بازده تراکم کمپرسور را به میزان زیادی افزایش دهیم باید ابتدا هوا را در یک سیلندر به فشار پایین (حدود ۴۰ Psig) متراکم نموده سپس هوای خروجی را وارد سیلندر دومی کنیم تا فشار آن به مقدار دلخواه برسد. در این روش هوا در دو مرحله متراکم می‌شود و این تراکم را دو مرحله‌ای می‌نامند. کمپرسورهای توربینی از نوع کمپرسورهای چندمرحله‌ای هستند (شکل‌های ۵ ــ ۵ و ۶ ــ ۵).

۴ ــ ۸ ــ ۵ ــ درجه حرارت هوای فشرده

در تراکم هوا درجه حرارت آن به‌طرز قابل توجهی بالا می‌رود. هوای متراکم با چنین درجه حرارتی نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. لذا کمپرسورها را به پره‌های خنک‌کننده[۱] در اطراف سیلندر آن مجهز می‌سازند.

در کمپرسورهای دو مرحله‌ای یا چند مرحله‌ای از خنک‌کننده‌های میانی[۲] جهت کاهش درجه حرارت هوا بین مراحل استفاده می‌شود (مطابق شکل ۹ــ ۵).



شکل ۹ــ ۵ ــ یک کمپرسور چندمرحله‌ای و کولرهای میانی

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

۱ــ Fan(Air Cooler) ۲ــ Inter Cooler

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

جدول ۲ــ۵ــ اشکالات احتمالی در کار با کمپرسور و راه‌های رفع اشکال

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

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

خودآزمایی

۱ــ عمل‌کرد پمپ گریز از مرکز را شرح دهید.

۲ــ کاویتاسیون را شرح داده یک راه مقابله با آن را توضیح دهید.

۳ــ بازده پمپ را چگونه به‌دست می‌آورند؟

۴ــ عمل‌کرد کمپرسورهای گازی را شرح دهید.

۵ ــ کمپرسورهای هوای توربینی در چه مواردی استفاده می‌شوند؟

۶ ــ طرز کار کمپرسورهای هوای پیستونی را شرح دهید.

۷ــ وقتی می‌گوییم ظرفیت کمپرسور ۲۰ است، یعنی چه؟

۸ ــ تراکم چند مرحله‌ای هوا را شرح دهید.

۹ــ نقش کمپرسور در یخچال منازل شما چیست؟

۱۰ ــ آیا جاروبرقی نمونه‌ای از کمپرسور است؟