اویل ایندااستری
Oilindustry.ir
CLICK HERE

مبانی پمپ ها

حسن میرزایی
دانشجوی مهندسی مکانیک

فصل ۱
مکانیک سیالات پمپ ها

- دبی
- انواع انرژی

انرژی فشاری(هد انرژی فشاری ، هد استاتیک)
انرژی جنبشی(هد انرژی جنبشی، هد دینامیک)
انرژی پتانسیل(هد انرژی پتانسیل)
افت انرژی ناشی از اصطکاک (هد افت انرژی ناشی از اصطکاک)
هد کلی سیال

- اصول حاکم بر جریان سیالات

اصل بقای جرم
اصل بقای انرژی(رابطه برنولی)
اصل بقای مومنتوم(قانون دوم نیوتون)
قانون سوم نیوتون
حل چند مثال

- کاویتاسیون

تعریف کاویتاسیون
عوامل موثر در ایجاد کاویتاسیون
روش های جلوگیری از کاویتاسیون
روش تست کاویتاسیون

- هد خالص مکش(NPSH)

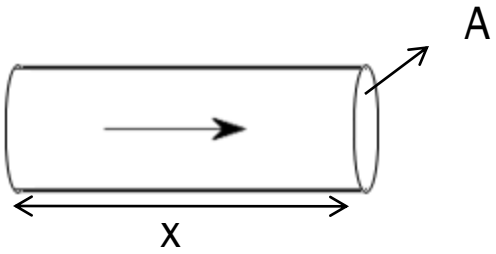
دبی(flow rate)

- **تعریف دبی**

در خط لوله ← عبارتست از حجمی از مایع که در واحد زمان از سطح مقطع لوله عبور می کند.

در پمپ← عبارتست از حجمی از مایع که در واحد زمان توسط پمپ جابجا می شود.

در مورد پمپ، دبی ، ظرفیت(capacity) نیز نامیده می شود.



- **دبی دارای واحد های زیر است:**
  - متر مکعب بر ساعت(m^3/hr)
  - متر مکعب بر ثانیه(m^3/s)
  - لیتر بر ثانیه(lit/hr)
  - گالن بر دقیقه (GPM)
  - گالن بر ثانیه (GPS)
- **برای دبی می توان روابط روبرو را نوشت که در آن:**

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

Q←دبی　　t←زمان　　V ←حجم سیال عبوری در زمان t

x←مسافت پیموده شده توسط سیال در زمان t　　v ←سرعت

- **تبدیل واحد های مهم:** 1 lit=1000 cm^3=10^{-3} m^3　　1 gal(US) = 3.785 lit　　1hr=3600s

تبدیل واحد های مهم:

1 inch=2.54 cm	1 ft=12 inches=30.48 cm	1bbl=5.615ft^3

- مثال:

از لوله ای با سطح مقطع دایره ای و به قطر d=3 inch، سیالی عبور می کند.اگر این سیال در مدت یک ساعت، مخزنی به حجم ۵۰ بشکه(50 bbl) را پر کند، دبی آن بر حسب GPM چقدر است؟

حل:

ابتدا، حجم مخزن را برحسب گالن محاسبه می کنیم:

$$V = 50\cancel{bbl} \times \frac{5.615\cancel{ft^3}}{1\cancel{bbl}} \times \left(\frac{30.48\cancel{cm}}{1\cancel{ft}}\right)^3 \times \frac{1\cancel{lit}}{1000\cancel{cm^3}} \times \frac{1gal}{3.785\cancel{lit}} = 2100.4gal$$

در نهایت دبی را از رابطه زیر حساب می کنیم:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{2100.4gal}{1\cancel{hr}} \times \frac{1\cancel{hr}}{60\,\text{min}} = 35GPM$$

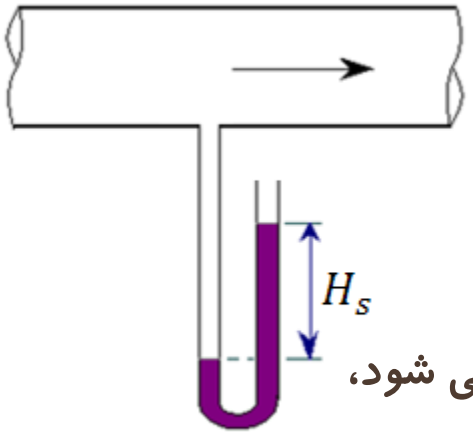
انواع انرژی

انرژی تبادل شده بین سیال و محیط شامل انرژی های فشاری،جنبشی ، پتانسیل و افت انرژی ناشی از اصطکاک است.

۱- انرژی فشاری(هد انرژی فشاری ، هد استاتیک)

- تعریف فشار :

عبارتست از مقدار نیروی که توسط سیال بر واحد سطح اعمال می شود.مقدار این نیرو در تمام جهات یکسان است و می توان آن را برحسب ارتفاع ستونی از مایع تعریف کرد.



Pitot Tube

- جهت اندازه گیری فشار در خطوط لوله ها، می توان از فشار سنج و یا Pitot Tube استفاده کرد.
- در شکل روبرو جهت اندازه گیری انرژی فشاری به صورت هد(ارتفاع، سرباره) ،از یک Pitot Tube استفاده شده است.به این هد، هد استاتیک گفته می شود، زیرا در محلی اندازه گیری می شود که سیال عبور ندارد.

- هد استاتیک به صورت زیر بیان می شود:

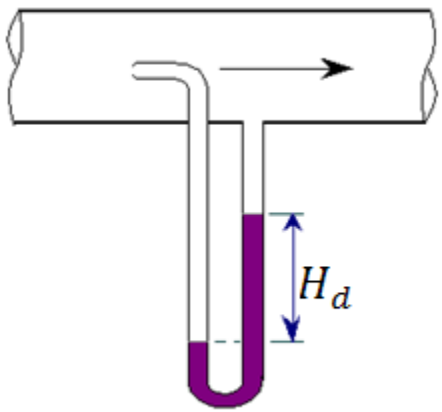
$$H_s = \frac{P}{\gamma} \, , \gamma = \rho g \, , g = 9.806 \, m/s^2$$

۲- انرژی جنبشی(هد انرژی جنبشی، هد دینامیک)

- انرژی جنبشی سیال، عبارتست از انرژی ای که سیال به دلیل حرکت دارد و به هد مربوط به آن هد دینامیک، گفته می شود.
- هد دینامیک به صورت زیر بیان می شود:

$$\frac{V^2}{2g}$$

- با اندازه گیری هد دینامیک ، می توان سرعت عبور سیال و دبی آن را محاسبه کرد:



$$H_d = \frac{V^2}{2g} \rightarrow \boxed{V = \sqrt{2gH_d}}$$

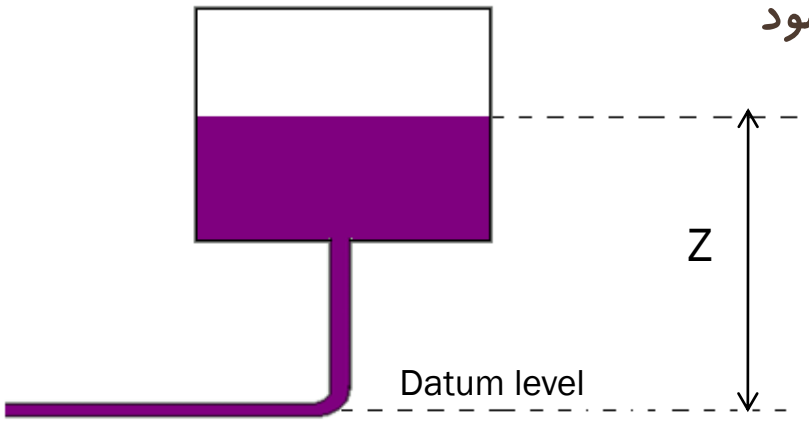
$$Q = AV$$

- نمونه هایی از فشار سنج ها(Pressure Gauge):

۳- انرژی پتانسیل(هد انرژی پتانسیل)

- این نوع انرژی در اثر اختلاف سطح مایع از یک سطح مبنا(سطح زمین) حاصل می شود.
- هد مربوط به انرژی پتانسیل به صورت Z بیان می شود

که Z اختلاف سطح مایع از سطح مبنا می باشد.



$$H_p = Z$$

۴- افت انرژی ناشی از اصطکاک (هد افت انرژی ناشی از اصطکاک)

- هد اصطکاکی، مقدار انرژی لازم برای غلبه بر اصطکاک موجود در خط لوله و اتصالات از قبیل شیر ،زانو، سه راهی و ... است که با H_f نشان داده می شود.
- مقدار H_f به عوامل متعددی بستگی دارد که عبارتند از:
  - دبی(Q)
  - قطر لوله(d)
  - طول لوله(L)
  - زبری لوله(ϵ)
  - ویسکوزیته مایع(μ)
  - وزن مخصوص مایع(ρ)
  - رژیم جریان
- رابطه H_f با دبی به صورت زیر است:

$$H_f = KQ^n$$

که در آن:

K←مقداری ثابت است و به کلیه عوامل بالا جز دبی بستگی دارد.

n←به رژیم جریان بستگی دارد و مقدار آن عبارتست از:

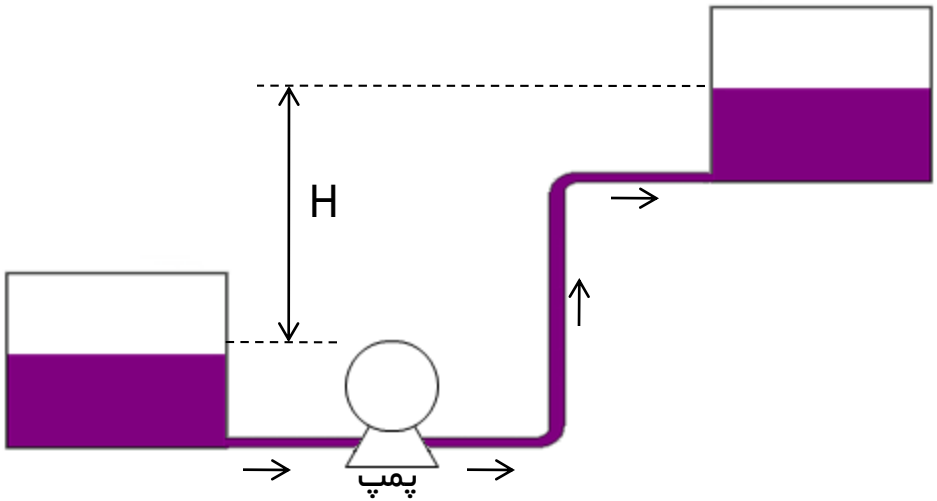
رژیم آرام: n=1 رژیم آشفته: n=1.85 – 2

هد کلی سیال،هد سیستم (Fluid Total Head)

- **هد کلی سیال به صورت مجموع هد فشاری ، جنبشی ، پتانسیل و هد اصطکاک تعریف می شود:**

هد اصطکاک + هد پتانسیل + هد جنبشی + هد فشاری =هد کلی سیال

$$H = H_s + H_d + H_p + H_f \rightarrow \boxed{H = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z + KQ^n}$$



اصول حاکم بر جریان سیالات

- اصول حاکم بر جریان سیالات عبارتند از:
  - اصل بقای جرم
  - اصل بقای انرژی(رابطه برنولی)
  - اصل بقای مومنتوم(قانون دوم نیوتون)
  - قانون سوم نیوتون

اصل بقای جرم

- مطابق این اصل، در حالت پایا(Steady State)، هنگامی که سیال حرکت می کند، مقدار آن که با دبی جرمی مشخص می شود تغییری نمی کند.
- دبی جرمی مطابق رابطه روبرو تعریف می شود:

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

که در آن:

$\dot{m}$ ← دبی جرمی　　V ← سرعت سیال

A ← سطح مقطع　　ρ ← چگالی(دانسیته)

- توجه: همانطور که قبلا بیان شد حاصلضرب سرعت در سطح مقطع دبی حجمی است یعنی:

$$vA = Q \rightarrow \boxed{\dot{m} = Q\rho}$$

- مطابق اصل بقای جرم، از آنجایی که در حالت پایا، دبی جرمی ثابت است می توان رابطه زیر را نوشت:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \rightarrow \boxed{v_1 A_1 \rho_1 = v_2 A_2 \rho_2 \equiv Q_1 \rho_1 = Q_2 \rho_2}$$

- حالات مختلف رابطه اخیر به صورت زیر است:
  - سطح مقطع لوله ثابت بماند ($A_1=A_2$):

در اینحالت، رابطه فوق به صورت زیر تغییر می کند:

$$v_1 \cancel{A_1} \rho_1 = v_2 \cancel{A_2} \rho_2 \rightarrow \boxed{v_1 \rho_1 = v_2 \rho_2}$$

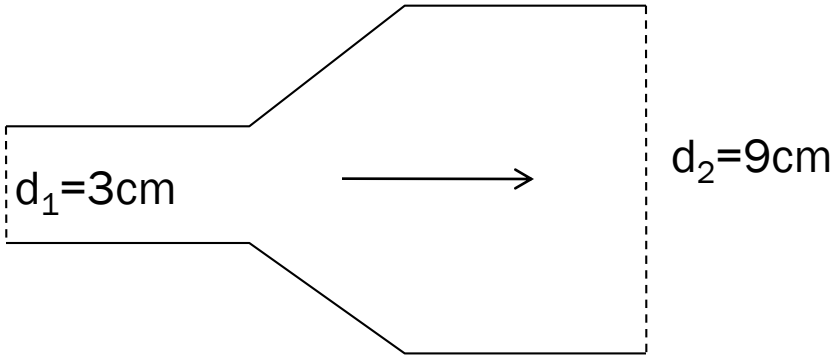
  - دانسیته سیال ثابت بماند ($\rho_1= \rho_2$):

برای سیالات تراکم ناپذیر مانند آب، دانسیته ثابت می ماند.در اینحالت خواهیم داشت:

$$v_1 A_1 \cancel{\rho_1} = v_2 A_2 \cancel{\rho_2} \rightarrow \boxed{v_1 A_1 = v_2 A_2 \equiv Q_1 = Q_2}$$

- **مثال**

مطابق شکل زیر، سیالی در یک خط لوله حرکت می کند.در صورتی که سرعت سیال در مقطع ۱ برابر با $27m/s$ باشد، سرعت آن را در مقطع ۲ محاسبه کنید.



حل:

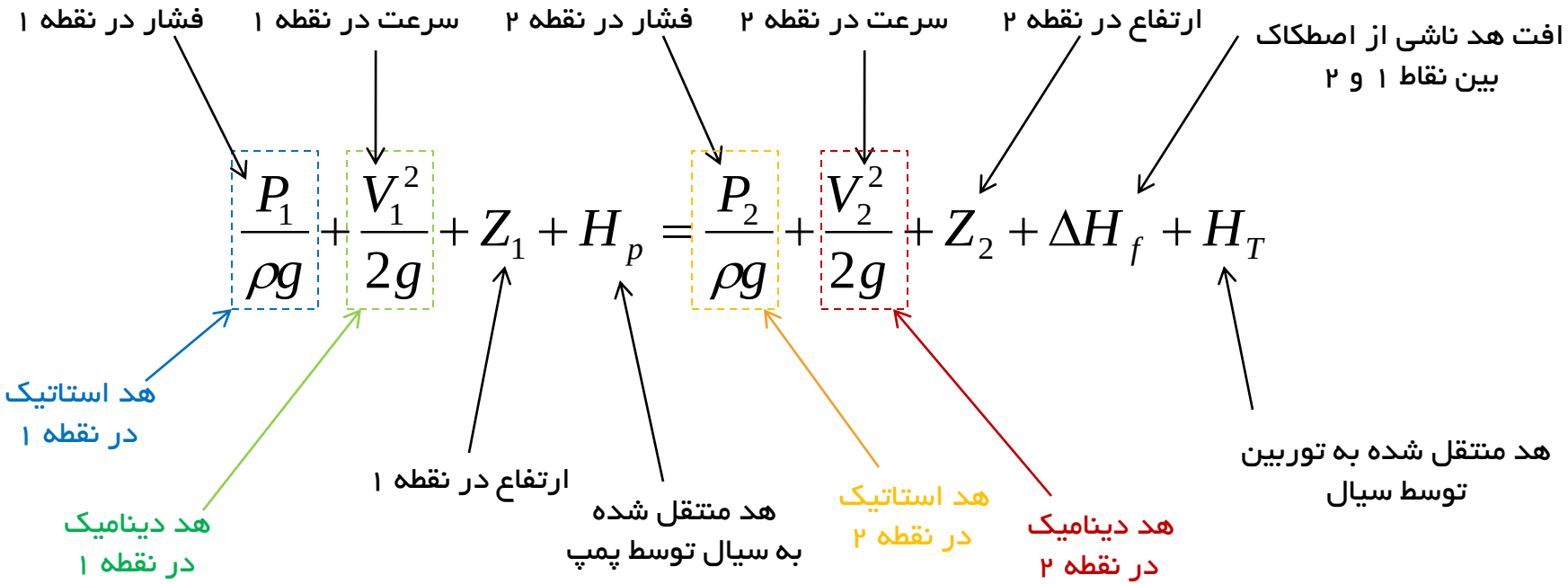
سیال را تراکم ناپذیر فرض می کنیم.در اینحالت داریم:

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \rightarrow v_1 \frac{\pi}{4}(d_1)^2 = v_2 \frac{\pi}{4}(d_2)^2 \rightarrow v_1 (d_1)^2 = v_2 (d_2)^2$$

$$\rightarrow v_2 = v_1 (\frac{d_1}{d_2})^2 = 27 m/s \times (\frac{3cm}{9cm})^2 = 3 m/s$$

اصل بقای انرژی(رابطه برنولی)

- مطابق این اصل، انرژی واحد وزن سیال ثابت بوده و تنها می تواند از یک نوع به نوع دیگر تبدیل شود.
- رابطه برنولی به صورت زیر بیان می شود :



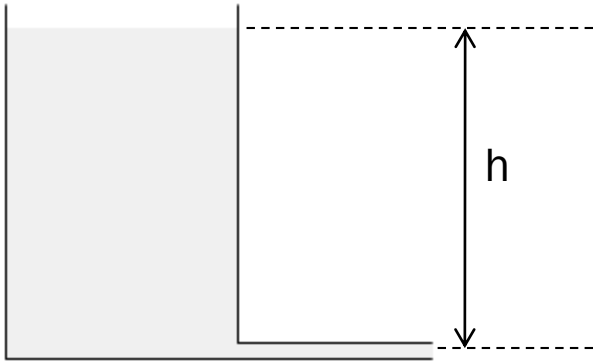
- در رابطه برنولی:

$$\gamma=\rho g$$

شتاب جاذبه زمین($g=9.81\ m/s^2$)

- مثال

در شکل زیر، سرعت سیال هنگام تخلیه مخزن عبارتست از:



الف) $\sqrt{gh}$ ☐

ب) $\sqrt{2gh}$ ☐

ج) gh ☐

د) $2gh$ ☐

حل:

رابطه برنولی را نوشته و آن را ساده می کنیم:

$$\frac{P_1}{\rho g}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1+H_p=\frac{P_2}{\rho g}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2+\Delta H_f+H_T$$

$$h=\frac{V_2^2}{2g}\rightarrow V_2=\sqrt{2gh}$$

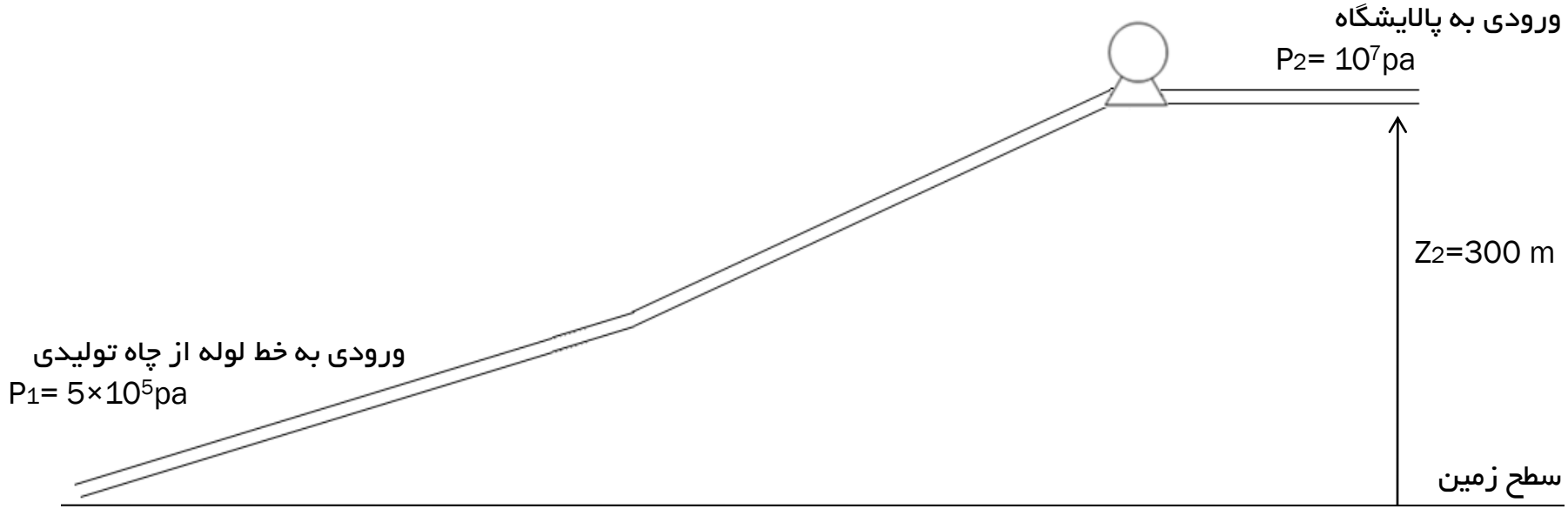
بنابراین، گزینه ب صحیح است.

- مثال

مطابق شکل زیر می خواهیم از یک پمپ جهت انتقال نفتی با چگالی ویژه S.G=0.85 و ویسکوزیته μ=0.8 cp به یک پالایشگاه استفاده کنیم.

تجهیزات پالایشگاه به صورتی طراحی شده که می بایست فشار ورودی نفت آن 10^7pa باشد.

در صورتی که فشار در قسمت ورودی خط لوله از چاه 5×10^5pa بوده و میزان افت حد در اثر اصطکاک ۱۰۰ متر باشد و سرعت نفت تقریبا ثابت بماند، هد مورد نیاز پمپ را بر حسب متر محاسبه کنید.



حل:

اطلاعات مسئله:

$P_2 = 10^7 pa$ $P_1 = 5\times10^5 pa$

$Z_1 = 0$ $Z_2 = 300\ m$

$V_1 \approx V_2$ $H_P = ?$

ابتدا معادله برنولی را نوشته و ساده می کنیم:

$$\frac{P_1}{\rho g}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1+H_p=\frac{P_2}{\rho g}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2+H_f \Rightarrow H_p=Z_2+\frac{P_2-P_1}{\rho g}+H_f$$

$$\Rightarrow H_p=300+\frac{10^7-5\times10^5}{0.85\times10^3\times9.81}+100=1539.3\text{m} \Rightarrow \boxed{H_p=1539.3\text{m}}$$

توجه: می دانیم که

$$S.G.=\frac{\rho}{\rho_W} \Rightarrow \boxed{\rho=S.G.\times\rho_W}$$

و چگالی آب برابر است با:

$$\rho_W=10^3 kg/m^3=62.4 lb_m/ft^3$$

اصل بقای مومنتوم(قانون دوم نیوتون)

- مومنتوم(P) برای یک جسم به صورت حاصلضرب جرم در سرعت تعریف می شود، یعنی:

$$P = mv$$

- مطابق این اصل، نیروی وارد شده بر یک جسم برابر است با تغییرات مومنتوم در واحد زمان.

در اینصورت برای سیال خواهیم داشت:

$$F = \left|\frac{\Delta P}{t}\right| = \left|\frac{P_2 - P_1}{t}\right| = \left|\frac{m_2 v_2 - m_1 v_1}{t}\right|$$

از طرفی، در حالت پایا جرم ثابت است یعنی:

$$m_2 = m_1 = m \rightarrow F = \left|\frac{mv_2 - mv_1}{t}\right| = \left|\dot{m}(v_2 - v_1)\right| \rightarrow \boxed{F = \left|\dot{m}(v_2 - v_1)\right|}$$

نیروی وارد شده به سیال

دبی جرمی سیال

سرعت اولیه سیال

سرعت ثانویه سیال

- از رابطه فوق می توان نیرویی را که پروانه بر سیال وارد می کند محاسبه کرد.

قانون سوم نیوتون(قانون عمل و عکس العمل)

- مطابق این اصل، هنگامی که یک جسم برجسم دوم نیرویی وارد می کند(عمل)، جسم دوم نیز بر جسم اول نیرویی وارد می کند که برابر با همان نیرواست ولی در جهت مخالف(عکس العمل).

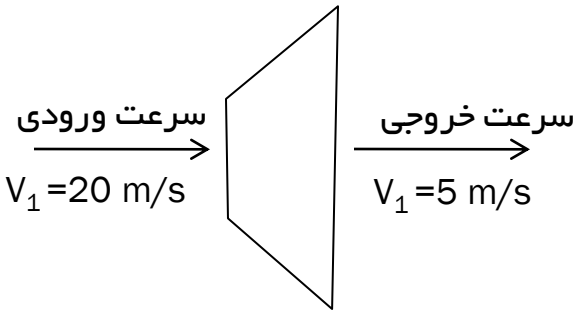
- بر اساس قانون سوم نیوتون، هنگامی که پروانه بر سیال نیرویی وارد می کند، سیال نیز نیرویی به همان اندازه بر پروانه وارد می کند که مقدار آن برابر است با:

$$F = \left|\dot{m}(v_2 - v_1)\right|$$

- از طریق رابطه فوق می توان نیروی وارد شده بر پروانه را در پمپ، کمپرسور، توربین و ... محاسبه کرد.

- **مثال**

در شکل زیر، در صورتی که دبی جرمی سیال برابر با 10 kg/s باشد، میزان نیروی وارد شده بر پروانه توربین چقدر است؟



□الف) ۵۰ نیوتون □ ب) ۱۵۰ نیوتون

□ ج) ۲۰۰ نیوتون □ د) ۲۵۰ نیوتون

حل:

$$F = \left|\dot{m}(v_2 - v_1)\right| = 10 \times (20 - 5) = 10 \times 15 = 150\,N$$

- **تمرین**

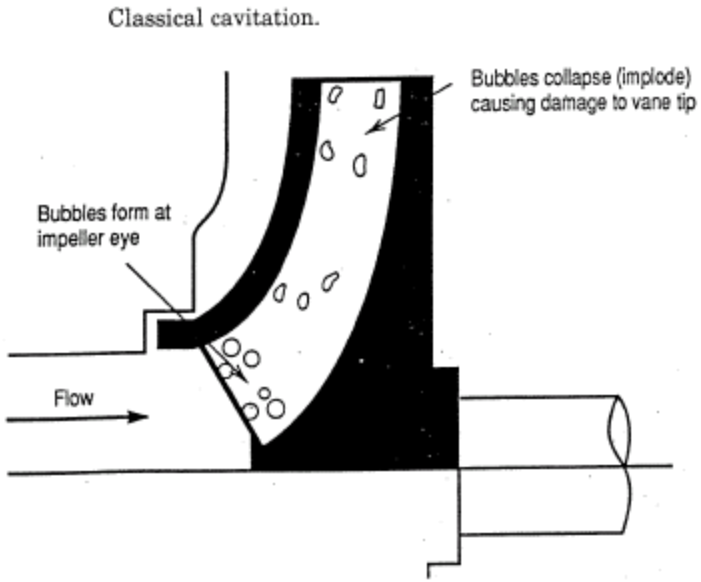
در مثال فوق، در صورتی که حداکثر نیروی قابل تحمل توسط پروانه برابر با ۷۵۰ نیوتون باشد، حدکثردبی جرمی که می توان در توربین اعمال کرد چقدر است؟

□الف) 150kg/s □ ب) 37.5kg/s □ج) 50kg/s □ د) 30kg/s

کاویتاسیون (خلا زایی،Cavitation)

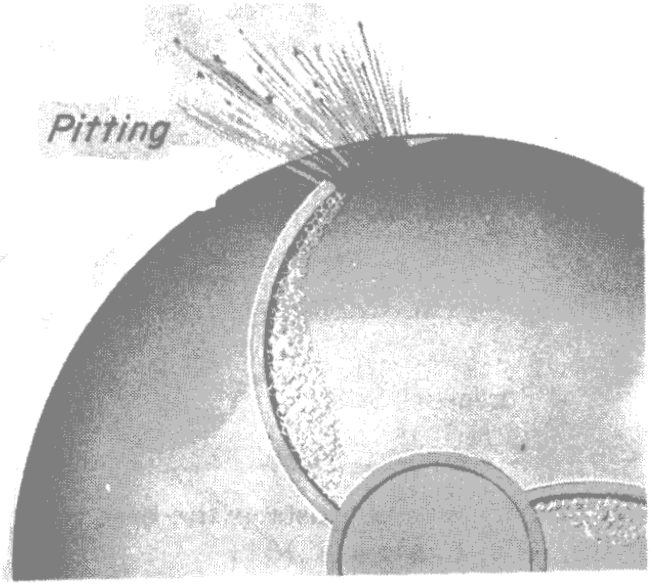
- کاویتاسیون از واژه Cavity به معنای حفره گرفته شده است ومنظور از کاویتاسیون ایجاد حفره یاحفره زائی است .
- درصورت وقوع این پدیده یکی از خسارات آن ایجاد خوردگی وحفره بر روی بدنه پروانه و پوسته پمپ است .
- قبل از توضیح پدیده کاویتاسیون لازم است اشاره به نقطه جوش و فشار بخار مایعات صورت گیرد . نقطه جوش مایعات به فشاری که مایع در آن قرار دارد بستگی دارد . مثلا آب در فشار یک آتمسفردر دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد می جوشد که این دما در فشار ۵ آتمسفردرحدود ۸۰ درجه است .
- ممکن است در داخل پمپ شرایطی بوجود آید به طوریکه در دمای موجود با توجه به کاهش فشاری که ایجاد شده ، سیال بجوشد.این پدیده در صورت وقوع در ابتدای پره در داخل پروانه رخ می دهد .
- تبدیل مایع به حباب های بخار همراه با افزایش حجم ناگهانی می باشد (دانسیته مایع بیش از ۱۰۰۰برابر دانسیته بخار در این شرایط است) . حباب تشکیل شده با سرعت زیادی به جلو هدایت می شود . در نیمه دوم پره با افزایش فشارسیال شرایط از حالت اشباع به حالت مایع فشرده بر می گردد و طی پدیده پیچیده ای حباب بخار سقوط کرده وضمن تقطیر شدن با سرعت زیاد (تا ۵۰ متر بر ثانیه) به اطراف برخورد می کند.

- قطرات سیال که با این سرعت به اطراف برخورد می کنند ،دارای ممنتوم بسیار بالایی هستند به طوریکه نیروی واردشده از طرف این ذرات بر دیواره پروانه قادر است قسمتی از بدنه پروانه را کنده و بر روی آن ایجاد حفره کند .
- کمتر فلزی در برابر این نیرو مقاومت می کند . آلیاژهای فولاد-کرم مقاومت بهتری در مقابل این پدیده دارند.
- این پدیده معمولا با ایجاد سر وصدا نیز همراه است که فرکانس آن به 1MHZ می رسد . به این صدا اصطلاحا صدای سفید گفته می شود .
- می توان از طریق اندازه گیری فرکانس صدا بروز کاویتاسیون را تشخیص داد .
- شکل روبرو نحوه پیدایش کاویتاسیون را نشان می دهد.



تعریف کاویتاسیون

- هنگامی که فشار مطلق در ورودی پمپ کمتر یا مساوی فشار بخار مایع می شود، مایع موجود در پمپ بخار می شود و حباب های بخار به همراه جریان سیال به قسمتی از پمپ که دارای فشار بالا است منتقل می شوند.در اثر عمل دینامیکی پروانه پمپ،در اثر بالارفتن فشار پمپ این حباب ها منفجر می شوند.به این فرآیندکاویتاسیون یا حفره زایی می گویند.



- انفجار حباب ها و کاویتاسیون موجب عوامل زیر می شوند:

۱-ایجاد لرزش و سر و صدای زیاد

۲-کاهش بازدهی و آسیب رساندن به پمپ

۳-ایجاد خوردگی های نوع Pitting در بدنه پمپ و پروانه ها

۴-ایجاد ارتعاشات در فرکانس های Random و از بین بردن تعادل هیدرولیکی روی پروانه و محور

۵-خرابی زودرس نشت بند های مکانیکی(Mechanical Seals) و یاتاقان(Bearing)

عوامل موثر در ایجاد کاویتاسیون:

- افت فشار بیش از حد در قسمت ورودی پمپ ، باعث تبخیر سریع تر مایع در این ناحیه شده و شرایط را برای تبخیر و تشکیل حباب زیاد می کند.
- بالارفتن دمای پمپ ، باعث بالارفتن فشار بخار مایع می شود و منجر می شود مایع در فشار کمتری تبخیر شود.
- افزایش دبی پمپ به دلیل بالارفتن دور موتور و یا استفاده از پروانه با قطر بیش از حد که موجب کاهش فشار در ورودی پمپ می شود.
- تغییر مایع پمپ شونده به دلیل تغییرات شرایط عملیاتی (پمپاژ مایعات سبک تر)
- افزایش هد مکش پمپ

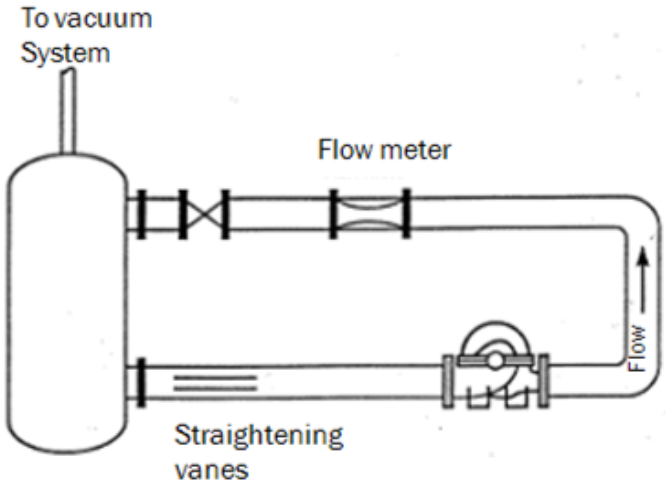
خوردگی از نوع pitting (آبله گون شدن) در پروانه

روش های جلوگیری از کاویتاسیون:

- عدم استفاده بیش از حد از خط لوله های طولانی،شیر ها، زانو ها، سه راهی ها و ... که موجب افت فشار ناشی از اصطکاک در مایع می شوند
- پایین نگه داشتن دمای مایع پمپ شونده
- پایین نگه داشتن دبی مایع از طریق
  - افزایش قطر ورودی
  - استفاده مناسب از کاهنده های جریان(Flow Reducer)
  - استفاده مناسب از صافی و مش
- اطمینان از باز بودن شیر اصلی(Main Valve)
- اطمینان از کار کردن بالای حداقل دبی(Q_{min})
- اطمینان از کار کردن پمپ در شرایط طراحی

روش تست کاویتاسیون:

- برای تعیین شرایط کاویتاسیون، از سیستمی مشابه شکل زیر استفاده می شود.
- در این سیستم با کم کردن تدریجی فشار داخل مخزن با استفاده از پمپ خلا و بررسی لرزش و ثبت شرایط کاری(دما، فشار، دبی و ...)، شرایط ایجاد کاویتاسیون تعیین می شود.



هد خالص مکش(NPSH)

- جهت کنترل پدیده کاویتاسیون وبرقراری شرایط عدم وجود کاویتاسیون از پارامتری به نام هد خالص مکش(NPSH)استفاده می شود.
- به جای این که نقطه حداقل فشار در داخل پروانه بررسی شود ، مقدار هد خالص در قبل از پمپ بررسی می گردد.در واقع کارخانه سازنده پیش بینی لازم برای افت از ورود پمپ تا نقطه حداقل فشار در داخل پروانه را انجام می دهد .
- NPSH حداقل هد(فشار) لازم در قسمت ورودی پمپ است که بتواند:
  - افت فشارهای ناشی از اتلاف انرژی را جبران کند.
  - اجازه تبخیر شدن مایع در این قسمت را ندهد.
- NPSH از نظر ریاضی به صورت تفاضل فشار مطلق مکش(ورودی) پمپ و فشار بخار مایع در دمای عملکرد پمپ ، تقسیم بر شتاب جاذبه ضرب در چگالی تعریف می شود:

$$NPSH = \frac{Absolute\ pressure\ of\ suction\ of\ pump - Vapor\ pressure\ at\ pump\ temperature}{\rho g}$$

فصل ۲

دسته بندی پمپ ها

- مقدمه
- تعریف پمپ
- دسته بندی پمپ ها
- پمپ های رفت و برگشتی
  - پمپ پیستونی
  - پمپ انگشتی
  - پمپ دیافراگمی
- پمپ های دوار
  - پمپ چرخ دنده ای
  - پمپ تیغه ای
  - پمپ پیچی
  - پمپ زائددار
- پمپ های دینامیک
  - پمپ های گریز از مرکز
    - طبقه بندی پمپ های گریز از مرکز
    - تعداد مراحل در پمپ های گریز از مرکز
- انتخاب نوع پمپ
- برخی از پمپ های دیگر

دسته بندی پمپ ها

مقدمه

- پمپ از قدیمی ترین دستگاه هایی است که مورد استفاده بشر بوده است.

از نخستین استفاده های این دستگاه استخراج آب از اعماق زمین بوده است.

- با پیشرفت علم، فناوری و صنعت امروز، پمپ به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است.

نمونه ای از پمپ آب قدیمی

نمونه ای از پمپ کله اسبی
مورد استفاده در استخراج نفت

برخی از موارد استفاده آن عبارتند از:

- استخراج آب از اعماق زمین
- استخراج نفت از مخازن کوچک نفتی
- استفاده گسترده در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی
- استفاده در صنایع غذایی
- استفاده در سیستم های تهویه هوا
- استفاده در شست و شو
- استفاده در پزشکی مانند قلب مصنوعی ، دندانپزشکی و ...

نمونه ای از پمپ
بکار رفته در قلب مصنوعی

تعریف پمپ(Pump)

- پمپ به دستگاهی اطلاق می شود که به مایع انرژی می دهد و باعث می شود که مایع از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل شود.

- به طور کلی پمپ ها را می توان به صورت پمپ های displacement(جابجایی) و dynamic(دینامیک) دسته بندی کرد.

- پمپ های جابجایی:

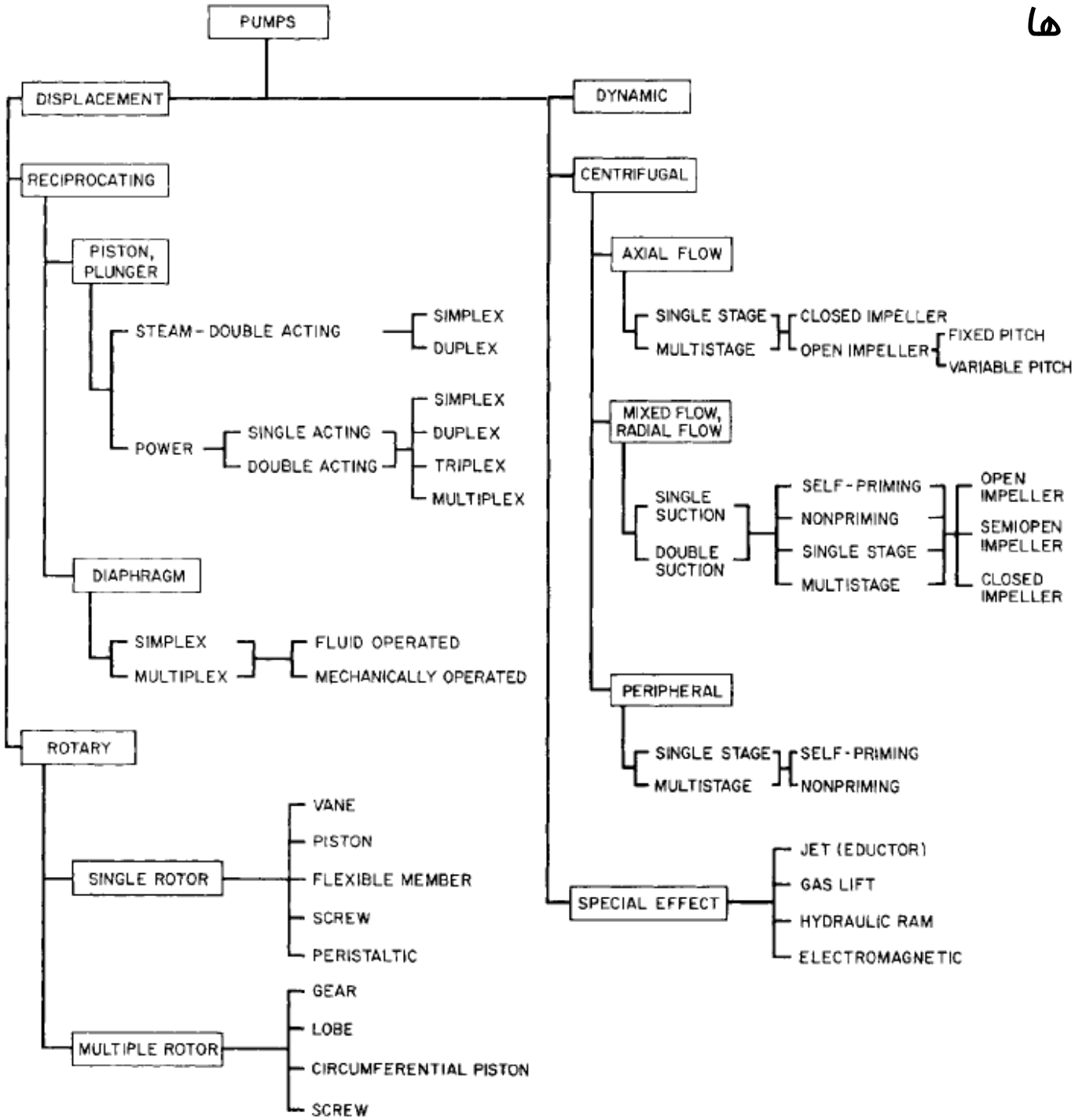
در این نوع پمپ ها،انرژی به صورت متناوب با استفاده از اعمال نیرو به یک یا چند مرز متحرک که دارای حجمی از سیال است ، به سیال اضافه شده و موجب افزایش فشار سیال می شود.

- پمپ های دینامیک:

اساس کار این نوع پمپ ها بر اساس افزودن انرژی جنبشی به مایعات است.این انرژی غالبا بر اساس سرعت دادن و حرکت دادن به مایع از طریق پروانه ها به مایع منتقل می شود.مقداری از انرژی جنبشی تولید شده در داخل پمپ به مایع منتقل می شود و مقداری دیگر نیز در مجرای خروجی پمپ(بر اساس ساختمان آن) به انرژی فشاری تبدیل می شود.

در ادامه دسته بندی کامل پمپ ها ارائه می گردد.

دسته بندی پمپ ها



پمپ های رفت و برگشتی(Reciprocating Pump)

- این پمپ ها دارای یک پیستون، انگشتی(Plunger) و یا دیافراگم هستند که در یک سیلندر قرار گرفته و حرکت تناوبی دارند و سوپاپ هایی در مسیر ورود و خروج مایع قرار دارد که جریان را کنترل می کنند.
- در اثر حرکت رفت و برگشتی پیستون، انگشتی و یا دیافراگم در سیلندر یک خلا نسبی بوجود می آید.در نتیجه فشار جوی هوا، مایع را از دریچه ورودی پمپ وارد سیلندر می کند و درحرکت بعدی در اثر فشار وارده از طرف پیستون، انگشتی و یا دیافراگم ، مایع از دریچه خروجی پمپ با فشار زیاد خارج می شود.

- انواع پمپ های رفت و برگشتی عبارتند از:

۱-پمپ پیستونی(Piston Pump)

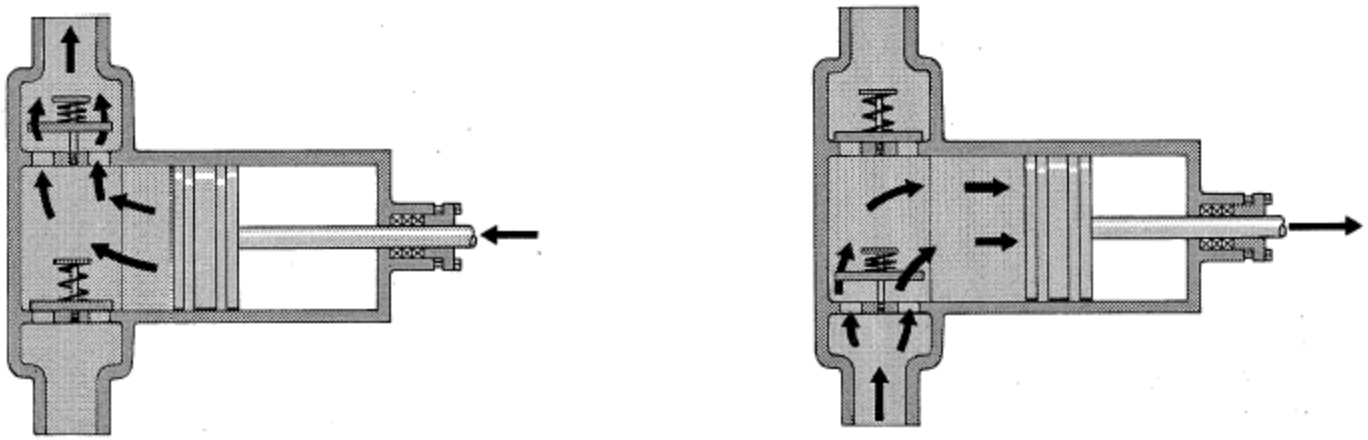
۲- پمپ انگشتی(Plunger Pump)

۳-پمپ دیافراگمی(Diaphragm Pump)

پمپ پیستونی(Piston Pump)

- این نوع پمپ ها به صورت یک ضربه(یک عمله Single Acting) و یا دو ضربه(دو عمله Double Acting) می باشند.

- در پمپ پیستونی یک ضربه،یک حرکت پیستون بمنظور ایجاد خلا و ورود مایع انجام می شود و حرکت بعدی مایع را از سیلندر خارج می کند.این نوع پمپ ، معمولا دارای یک سوپاپ ورودی(Suction Valve) و یک سوپاپ خروجی(Discharge Valve) است.از خصوصیات اصلی این نوع پمپ، انقطاع و تناوب جریان خروجی است که باعث کم بودن ظرفیت این نوع پمپ ها شده است.

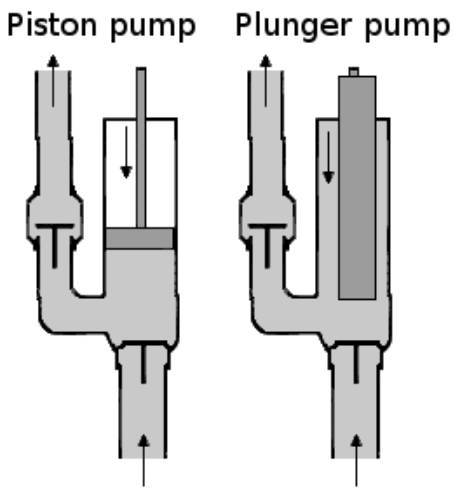


سیکل عملکرد پمپ پیستونی یک ضربه ای

- در پمپ پیستونی دو ضربه ، در هر رفت و برگشت پیستون ، دو بار مایع به برون رانده می شود. هنگامیکه پیستون به جلو می رود و مایع را خارج می کند ،در همان لحظه در سمت دیگر سیلندر خلا نسبی ایجاد شده و مایع با فشار جو داخل سیلندر می شود که خرکت بعدی آن را نیز خارج می کند.بنابراین لازم است حداقل تعداد سوپاپ ها چهار عدد باشد.در این نوع پمپ ها جریان یکنواخت تر است و ظرفیت نیز بیشتر است.

پمپ انگشتی(Plunger Pump)

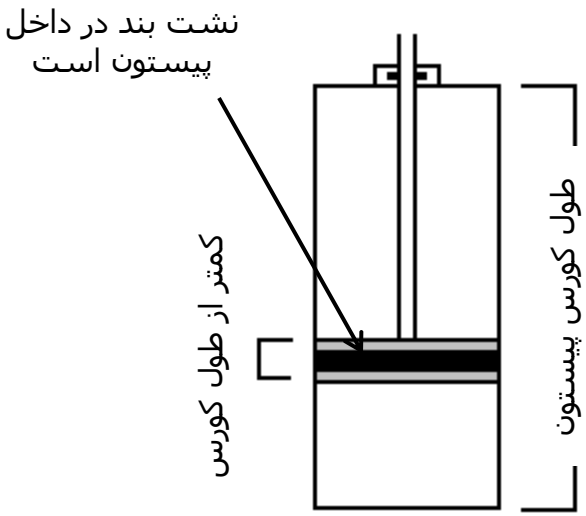
- عملکرد این نوع پمپ ها مانند پمپ های پیستونی است، با این تفاوت که در این نوع پمپ ها به جای پیستون ، انگشتی به کار می رود.این پمپ ها هم به صورت تک ضربه ای و دو ضربه ای هستند.



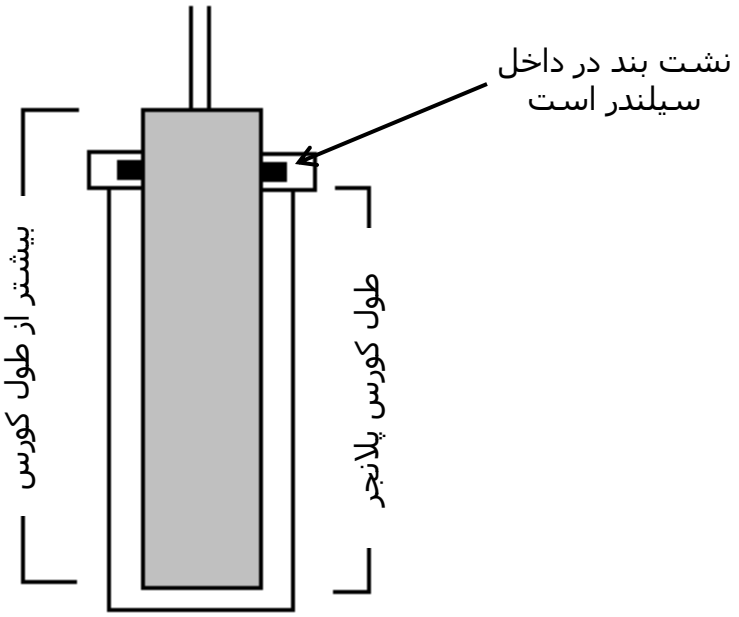
- **تفاوت پیستون و انگشتی :**

۱- طول پیستون از کورس(course) آن در سیلندر کمتر است، در صورتی که طول انگشتی از کورس آن در سیلندر بیشتر است.

۲- پیستون در داخل سیلندر بر مایع فشار وارد می کند و تمام سطح آن با مایع در تماس است، ولی انگشتی وارد سیلندر شده و به اندازه حجم آن مایع خارج می شود.



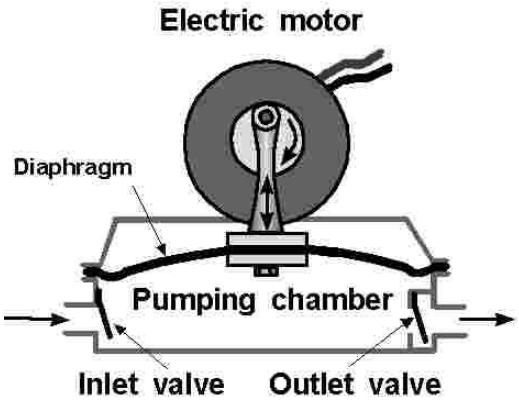
پمپ پیستونی



پمپ پلانجری

پمپ دیافراگمی(Diaphragm Pump)

- در این پمپ ها ، بجای پیستون و یا انگشتی از یک صفحه لاستیکی قابل ارتجاع بنام دیافراگم استفاده می شود.
- دیافراگم بوسیله ی یک بازوی اتصال که به میل لنگ متصل است ،بالا و پایین می رود.
- این نوع پمپ ها دارای ساختمان ساده ای هستندو می توان از آن ها برای انتقال مایعات غلیظ (با ویسکوزیته بالا) و سنگین(با چگالی بالا) مانند فاضلاب، گل و لای و مایعات حاوی شن و ماسه استفاده کرد.



ویژگی های پمپ های رفت و برگشتی:

- فشار(هد) خروجی بالا
- سرعت کم
- جریان غیر یکنواخت
- راندمان بالا در صورت سرویس منظم و به موقع

پمپ های دوار(Rotary Pumps)

- ساختمان این نوع پمپ ها از دو قسمت عمده تشکیل شده است که عبارتند از : جداره ثابت و جداره دوار.
- جداره دوار بوسیله ی یک نیرو محرکه می گردد و مایع را از قسمت مکش به قسمت خروجی بافشار بالاتر منتقل می کند.

توجه:

در تلمبه های رفت و برگشتی و یا دوار اگر راه خروجی مایع بسته باشد و شیر اطمینان در جداره تعبیه نشده باشد، فشار زیاد باعث ترکیدن جداره و یا لوله های مربوط به آن می شود.

- برخی از انواع مهم پمپ های دوار عبارتند از:

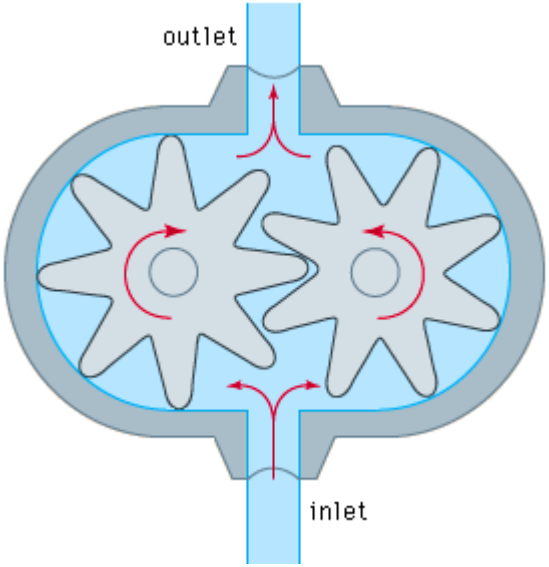
۱-پمپ چرخ دنده ای(Gear Pump)

۲-پمپ تیغه ای(Vane Pump)

۳- پمپ پیچی(Screw Pump)

۴- پمپ زائددار(Lobe Pump)

پمپ چرخ دنده ای(Gear Pump)



- این پمپ ها از تعدادی چرخ دنده تشکیل شده اند که با یکدیگر درگیر اند.

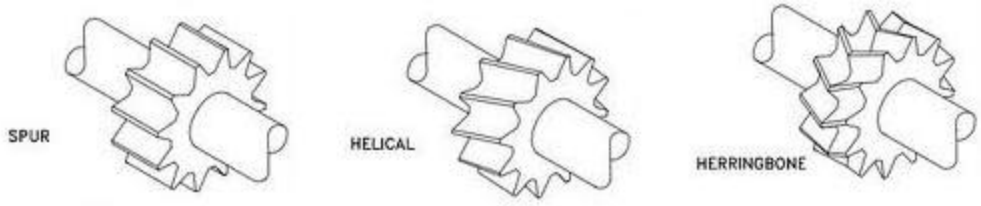
- ضمن اینکه چرخ دنده ها از هم جدا می شوند، بین آنها خلا نسبی بوجود می آید و مایع از ورودی به داخل کشیده می شود، سپس مایع بین دنده ها و جداره بدنه قرار گرفته و با فشار به سمت خروجی رانده می شود.

- پمپ های چرخ دنده ای از نظر شکل چرخ دنده ها عبارتند از:

۱- پمپ دنده ای ساده (Spur Gear Pump)

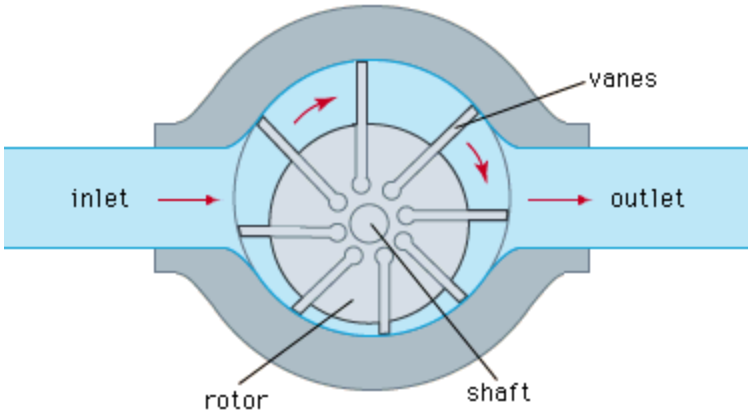
۲- پمپ دنده ای مارپیچی (Helical Gear Pump)

۳- پمپ دنده ای جناغی (Herringbone Gear Pump)

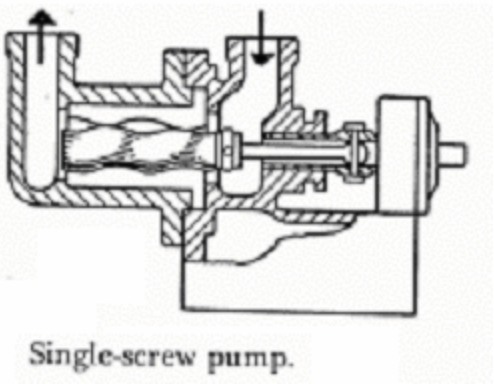


پمپ تیغه ای(Vane Pump)

- این نوع پمپ ها، از یک بدنه و یک عضو دوار(Rotor) و تعدادی تیغه که در شیارهایی تعبیه شده در عضو دوار قرار دارند، تشکیل شده اند.
- هنگامیکه گرداننده می چرخد بعلت مختلف المرکز بودن آن با بدنه بر اثر نیروی گریز از مرکز، تیغه ها از داخل شیارها خارج شده و با بدنه تماس حاصل می کنند و بعلت فواصل مختلفی که جداره قسمت گردنده با بدنه دارد تیغه ها فضای داخل تلمبه را به حجم های نامساوی تقسیم می کنند و چون ورودی تلمبه در جایی قرار می گیرد که فضای بین تیغه ها و بدنه تلمبه در حال زیاد شدن است ، بنابراین با زیاد شدن حجم خلایی در محفظه بوجود آمده و مایع داخل پمپ کشیده می شود و همچنانکه قسمت گرداننده می چرخد مایع حبس شده در داخل محفظه از ورودی تلمبه به طرف خروجی تلمبه رانده می شود.



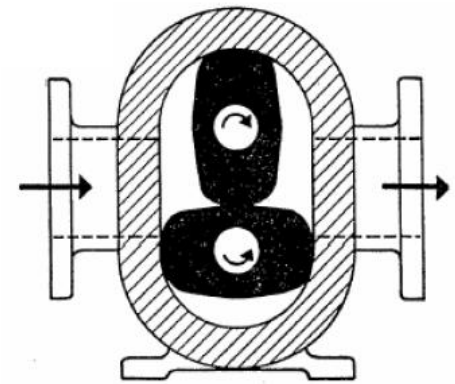
پمپ پیچی(Screw Pump)

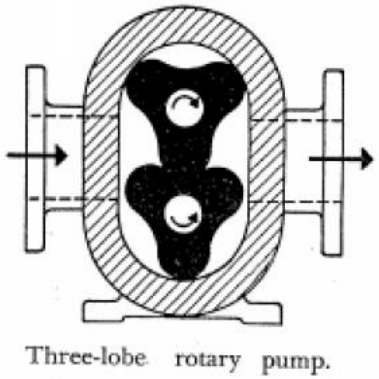

Single-screw pump.

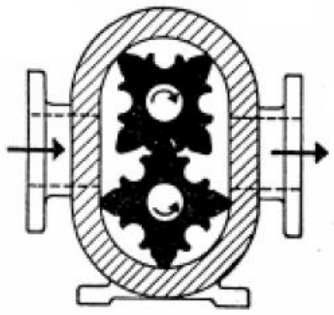
- در این نوع پمپ، مایع توسط یک یا دو پیچ متحرک ، منتقل می شود.
- مایع انتقالی بین پیچ گردان و قسمت مارپیچ ثابت قرار گرفته از طرف ورودی پمپ به طرف خروجی پمپ هدایت می شود.

پمپ زائددار (Lobe Pump)

- در قسمت داخلی این نوع پمپ ، بجای چرخ دنده از دو قسمت متحرک استفاده شده است که قسمت متحرک دارای دو یا چند پره(Lobe) می باشد.


Two-lobe rotary pump.


Three-lobe rotary pump.


Four-lobe rotary pump.

- اختلاف دیگر این نوع پمپ با نوع چرخ دنده ای این است که در آن هر دو قسمت متحرک بوسیله موتور گردانده می شود، در صورتی که در تلمبه های چرخ دنده ای معمولا یک چرخ دنده گرداننده می شود و چرخ دنده ی دیگر را به حرکت در می آورد.
- اصول کار این نوع پمپ ها ، مانند پمپ های چرخ دنده ایست.

ویژگی های پمپ های دوار:

- ظرفیت کم(کمتر از ۲۰۰gal/min)
- فشار(هد) خروجی متوسط(۳۰۰ ft – ۱۵۰)
- مایعات غلیظ با ویسکوزیته بالا(بالاتر از ۶۵۰ centistoke)
- جریان یکنواخت

پمپ های دینامیک(Dynamic Pumps)

- این نوع تلمبه ها بیشترین کاربرد را در صنعت دارند.
- این پمپ ها با اینکه بعد از پمپ های جابجایی مثبت(Positive Displacement) ساخته شده اند، اما به دلیل توسعه ی موتورهای محرک الکتریکی ، توسعه ی بیشتری یافته اند.
- به دلیل اینکه این پمپ ها و موتورهای الکتریکی هر دو دارای حرکت دورانی هستند و در کلیه موارد امکان ایجاد یک حرکت مساوی بین موتور و قسمت محرک وجود دارد و از طرفی چون از پمپ های جابجایی مثبت نیز بازده کمتری ندارند، لذا گسترش بیشتری یافته اند و در بسیاری موارد جایگزین پمپ های جابجایی مثبت شده اند.
- پمپ های دینامیک را می توان برای شدت جریان(دبی) و هد های مختلف به کار برد.

ویژگی های پمپ های دینامیک:

- قابلیت کار در سرعت (RMP) های بالا
- حجم مایع خروجی آن ها را می توان تغییر داد و به صفر رساند(قابلیت کار در دبی متغیر)
- فضای کمی اشغال می کنند
- جریان یکنواخت
- هزینه نگهداری نسبتا کمی دارند

پمپ های گریز از مرکز(Centrifugal Pumps)

- اصول کار این پمپ ها بر اساس نیروی گریز از مرکز است.
- هر جسمی که در یک مسیر دایره ای یا منحنی شکل حرکت کند، تحت تاثیر نیروی گریز از مرکز واقع می شود.جهت این نیرو به گونه ای است که همواره تمایل دارد که جسم را از مرکز دوران و یا محور دور سازد.
- این پمپ ها در ساده ترین شکل خود دارای یک عضو گرداننده به نام پروانه هستند که در داخل محفظه پمپ قرار گرفته است و با حرکت سریع خود موجب گردش مایع می شود.در نتیجه این عمل مایع تحت تاثیر نیروی گریز از مرکز واقع شده، انرژی جنبشی آن افزایش می یابد و فشار آن کاهش می یابد.در ادامه یک خلا نسبی در مرکز پمپ به وجود می آید و فشار جوی باعث ورود مایع به درون پمپ می شود و با تیغه های پروانه برخورد کرده، با سرعت زیاد از پیرامون بدنه پمپ به خارج منتقل می شود.
- تا زمانی که مایع در پمپ وجود داشته باشد،خروج مایع بایک جریان یکنواخت و پیوسته ادامه خواهد داشت.
- به دلیل ویژگی های مطلوب پمپ های گریز از مرکز، امروزه بیش از ۶۰٪ از پمپ های مورد استفاده از این نوع است.

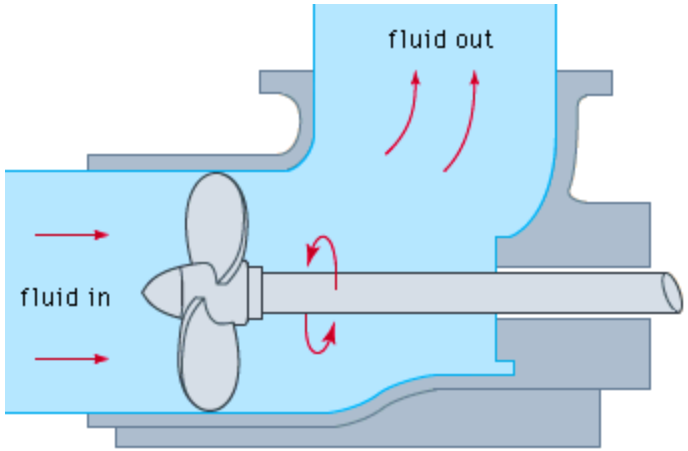
طبقه بندی پمپ های گریز از مرکز:

انواع مهم پمپ های گریز از مرکز عبارتند از:

- پمپ جریان محوری (Axial Flow Pump)
- پمپ جریان شعاعی (Radial Flow Pump)
- پمپ جریان ترکیبی (Mixed Flow Pump)

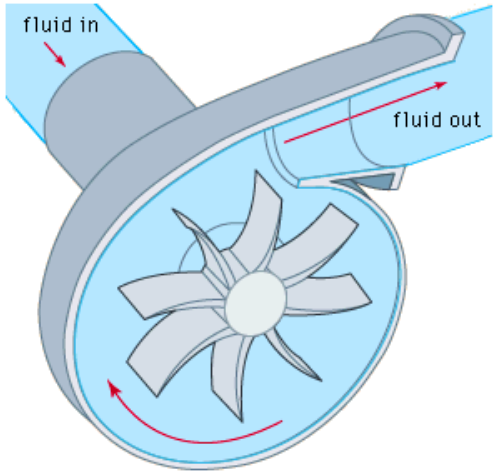
پمپ جریان محوری (Axial Flow Pump)

- در این نوع پمپ ها، مایع در امتداد محور پروانه وارد می شود و موازی با آن خارج می شود.
- این پمپ ها برای ظرفیت بالا و هد نسبتا کم بکار می روند.



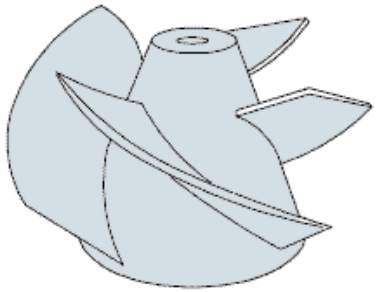
پمپ جریان شعاعی (Radial Flow Pump)

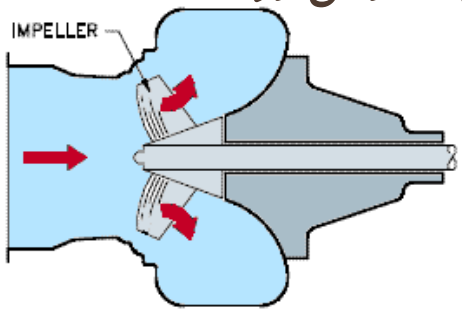
- در پمپ جریان شعاعی ، مایع از مرکز پروانه وارد می شود و در امتداد شعاع ، یعنی عمود بر محور بطرف محیط پروانه جریان می یابد.
- این پمپ ها برای ظرفیت کم و هد(فشار) بالا مورد استفاده قرار می گیرند.



پمپ جریان ترکیبی (Mixed Flow Pump)

- در این نوع پمپ ها ، مایع به موازی محور وارد پروانه می شود و بطور مایل نسبت به محور با زاویه ۴۵ درجه خارج می شود.
- این پمپ ها برای ظرفیت و فشار(هد) متوسط به کار می روند.



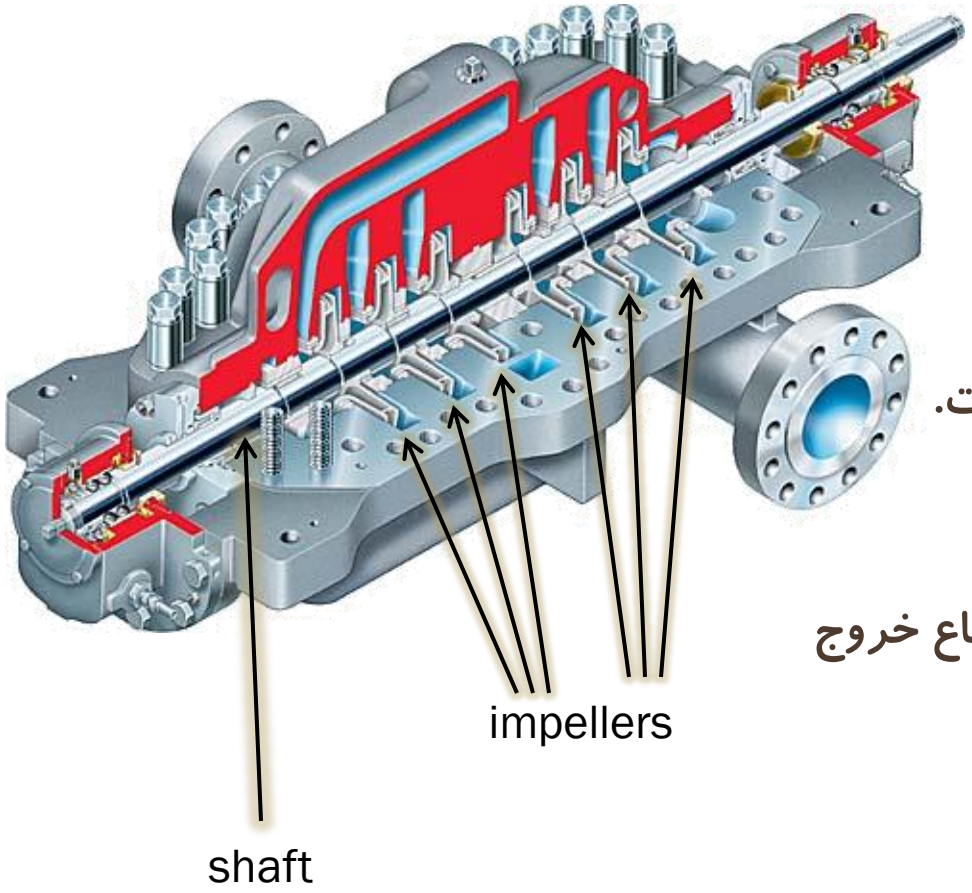


تعداد مراحل در پمپ های گریز از مرکز

پمپ های گریز از مرکز ممکن است یک مرحله ای(Single Stage) و یا چند مرحله ای(Multi Stage) باشند.

پمپ تک مرحله ای(Single Stage)

- این نوع پمپ دارای یک پروانه روی شافت است.
- این نوع پمپ ها اکثرا به صورت حلزونی ساخته می شوند.
- پمپ های تک مرحله ای برای مواردی که ارتفاع خروج مورد نظر کم و یا متوسط بوده و بیش از ۲۵۰ تا ۳۰۰ فوت باشد به کار می روند.



پمپ چند مرحله ای(Multi Stage)

- برای ارتفاع خروجی بالا، نیاز به پمپ با قطر خیلی بزرگ و با سرعت زیاد است که هر دوی این عوامل در پمپ های تک مرحله ای با مشکل مواجه می شوند.

لذا در این موارد نیاز به پمپ های چند مرحله ای است.

- در این نوع پمپ ها، دو یا چند پروانه روی یک شافت قرار دارد.
- پمپ های چند مرحله ای برای مواردی که ارتفاع خروج مورد نظر نسبتا زیاد باشد به کار می روند.

انتخاب نوع پمپ(selection of pump class)

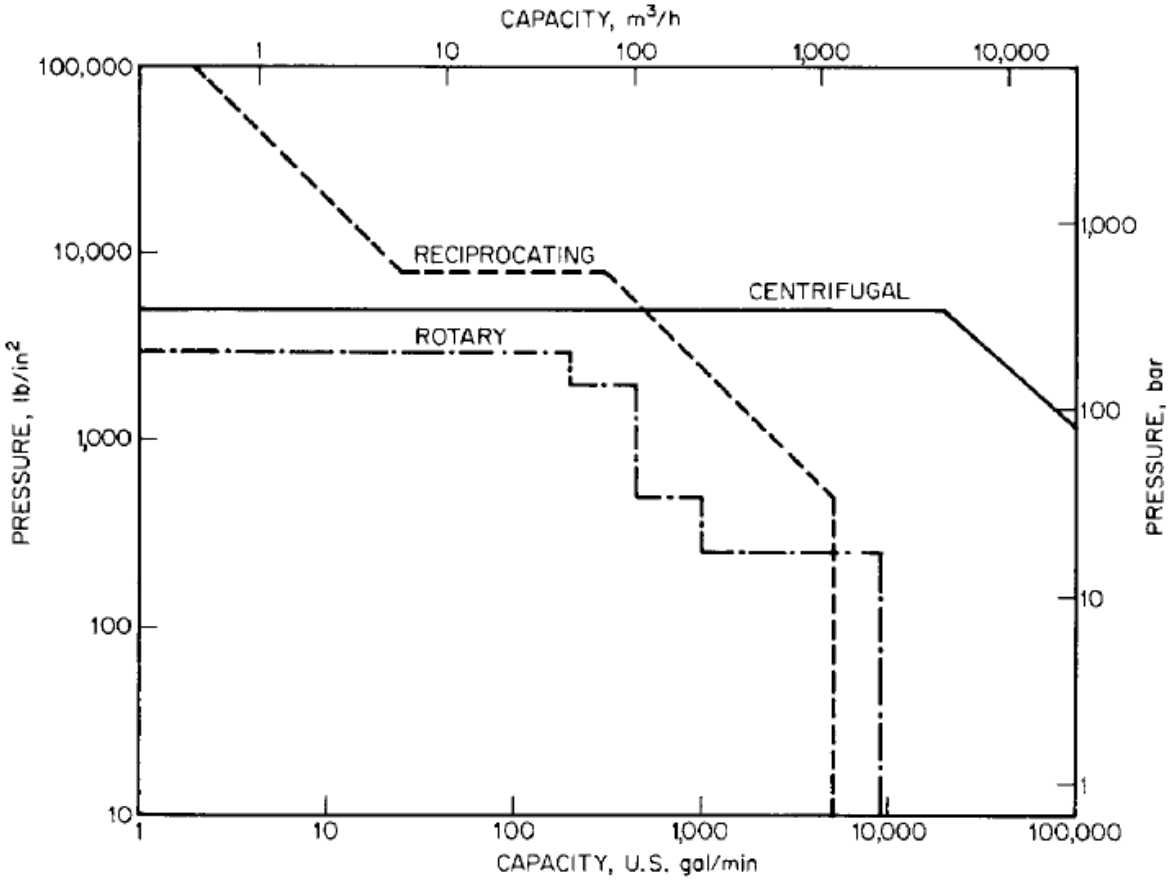
- پارامترهای موثر در انتخاب پمپ ها عبارتند از:
  - نوع سیال
    - میزان خورندگی سیال در انتخاب جنس پمپ موثر است
    - در صورت سمی بودن سیال نیاز به نشت بندهای مکانیکی است
    - در صورت وجود ذرات جامد معلق در سیال باید به نکات زیر توجه کرد
      - نیاز به نشت بندهای مناسب است
      - می بایست پمپ مقاوم در مقابل خوردگی انتخاب شود
      - باید پروانه مناسب انتخاب شود
  - منحنی های هد سیستم در واحد عملیاتی
    - منحنی هایی است بر اساس عواملی مانند طول و قطر لوله ها، ارتفاع نسبی سیستم، شیرها و ... رسم شده و مورد استفاده قرار می گیرند
  - فشار و دبی پمپ(این موضوع در ادامه بررسی می شود)

دسته بندی پمپ ها

- نحوه کنترل پمپ
  - در پمپ های گریز از مرکز نیاز به شیر کنترل است
  - می توان از حسگرهای فشار و دما جهت کنترل در سیستم استفاده کرد
- نحوه عملیات در واحد عملیاتی
  - عملیات مداوم و سنگین
  - عملیات جانبی و سبک
  - نحوه اتصال پمپ ها
    - سری
    - موازی
  - نوع پمپ ها از نظر یکسان بودن و یا متفاوت بودن
- تغییرات آتی در واحد عملیاتی(پارامتر نهایی در انتخاب پمپ)

تاثیر دبی و فشار در انتخاب پمپ

- همانطور که قبلا بیان شد، از جمله پارامترهای مهم و موثر در انتخاب نوع پمپ، دبی و فشار مورد نظر است.
- در شکل زیر، خطوط، حد نهایی قابلیت استفاده از پمپ ها را به طور تقریبی نشان می دهد:



Approximate upper limit of pressure and capacity by pump class

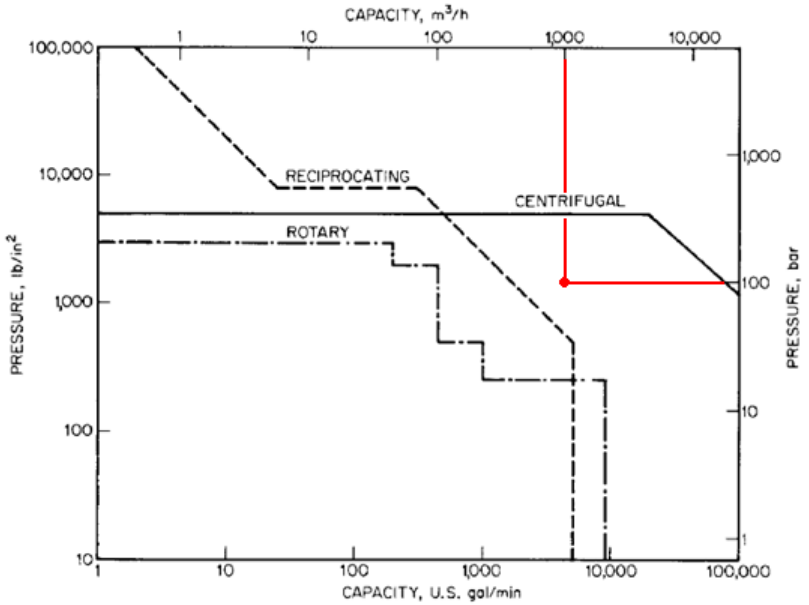
- مثال:

با توجه به شکل قبل، در صورتی که دبی و فشار مورد نظر به ترتیب برابر با $Q=1000\ m^3/h$ و $P=100\ bar$ باشد، استفاده از کدامیک از پمپهای زیر را پیشنهاد می کنید؟

- الف)پمپ های دورانی
- ب)پمپ های رفت و برگشتی
- ج)پمپ های گریز از مرکز
- د)پمپ های رفت و برگشتی یا گریز از مرکز

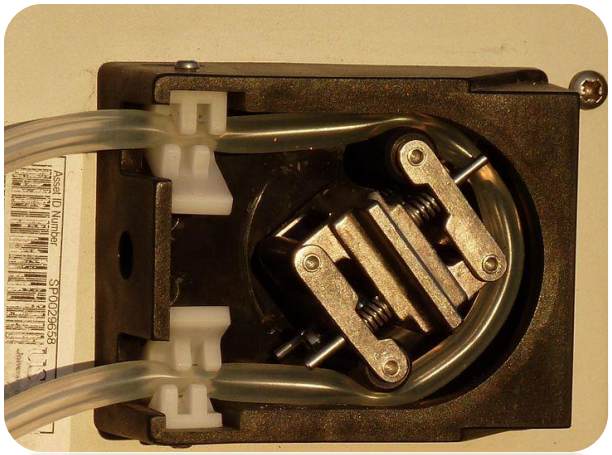
پاسخ:

با توجه به شکل، در محدوده مشخص شده، تنها می توان از پمپ های گریز از مرکز استفاده کرد.

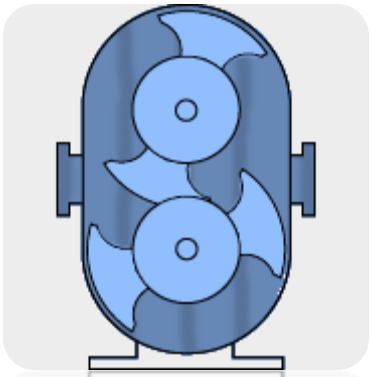


Approximate upper limit of pressure and capacity by pump class

برخی از پمپ های دیگر



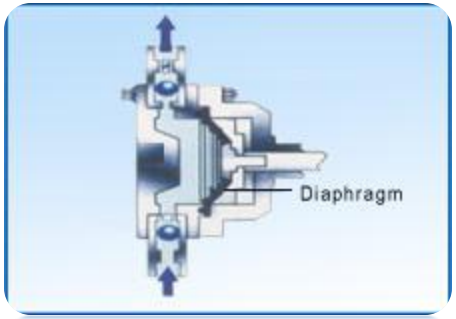
Peristaltic Rotary Pump



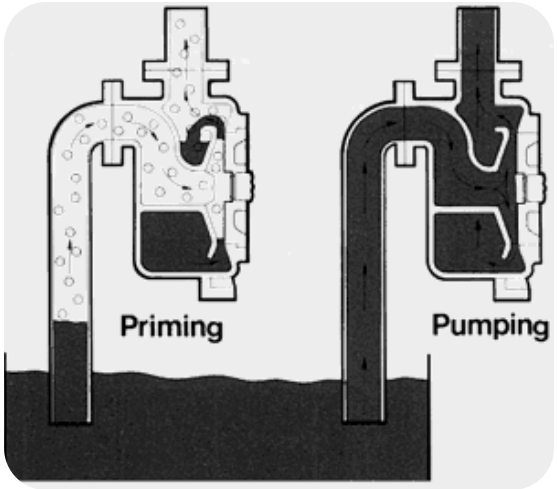
Circumferential Piston Rotary Pump

Hydraulic Ram Pump

Fluid Operated Diaphragm Pump



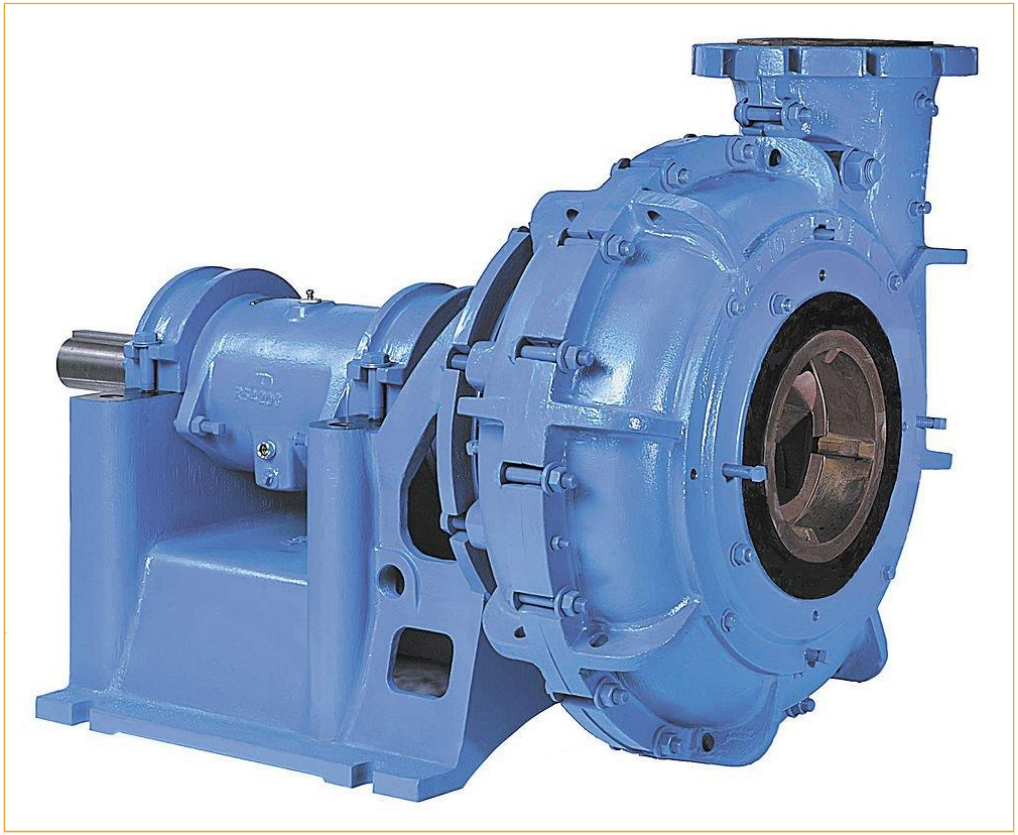
Mechanically Operated Diaphragm Pump



Self Priming Pump

فصل ۳
اصول کار با پمپ های گریز از مرکز

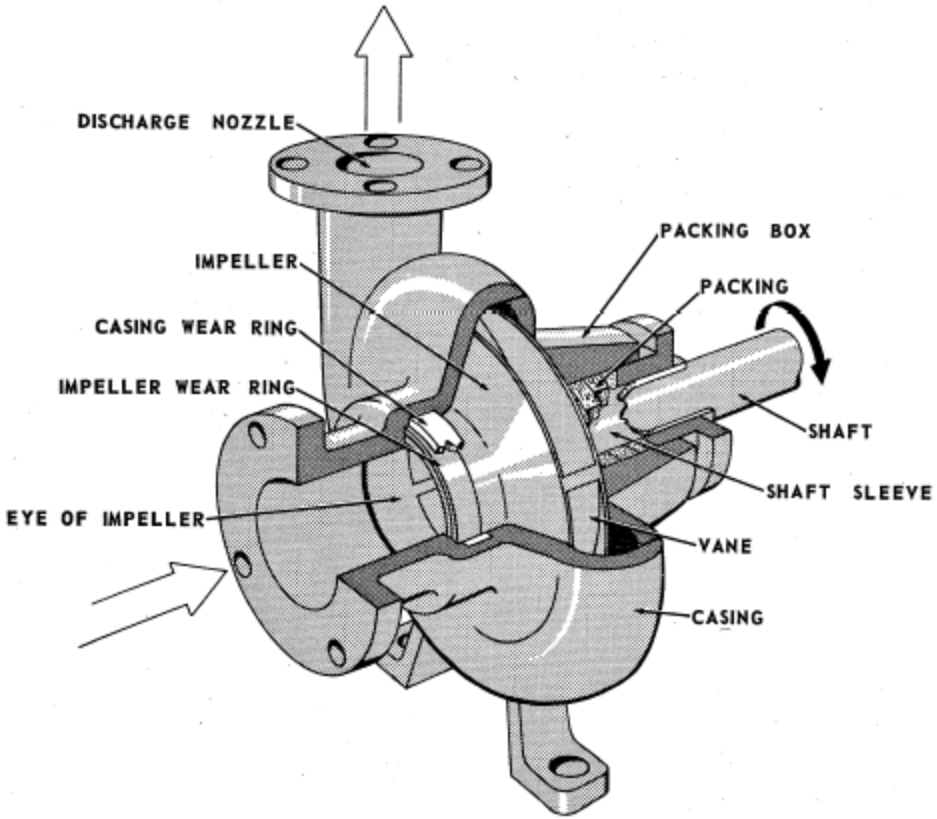
- اجزای مهم پمپ های گریز از مرکز
  - بدنه
  - محور
  - پروانه
  - کوپلینگ
  - روپوش محور
  - حلقه های سایشی
  - نشت بند
  - یاتاقان
  - افشاننده
- متعادل کردن حرکت محوری
- اصول راه اندازی پمپ های گریز از مرکز
- اشکالات متداول در پمپ های گریز از مرکز
- رفع اشکال در پمپ های گریز از مرکز



اجزای مهم پمپ های گریز از مرکز

مهمترین اجزای پمپ های گریز از مرکز به صورت زیر است:

- بدنه (casing)
- محور (shaft)
- پروانه (impeller)
- کوپلینگ (coupling)
- روپوش محور (shaft sleeve)
- حلقه های سایشی (wear ring)
- نشت بند (seal)
- یاتاقان (bearing)



در ادامه این اجزا بررسی می شوند.

بدنه(casing)

- بدنه بزرگترین و شاخص ترین جزء یک پمپ گریز از مرکز است.
- در صنایع نفت پوسته پمپ های فشار ضعیف معمولا

از چدن ساخته می شود، در حالیکه برای پمپ های پر فشار بیشتر از فولاد استفاده می شود.

- پوسته سه وظیفه مهم دارد:

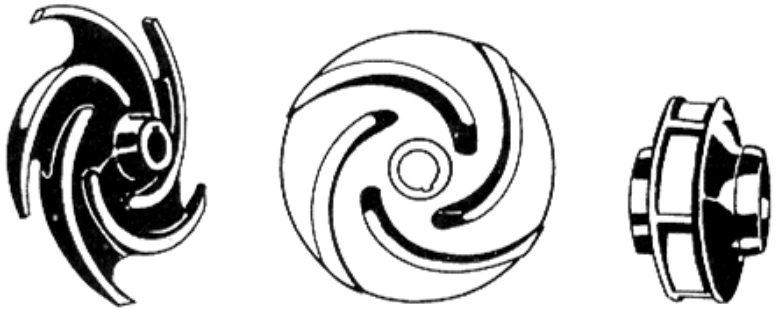
۱. اجزای داخلی پمپ را در خود جای می دهد و از آن حفاظت می کند.
۲. مایع پمپاژ شونده را محصور کرده و جریان آن را هدایت می کند.
۳. شیپوره(volute) و محل اتصال لوله های ورودی و خروجی را شکل می دهد.

محور(shaft)

- محور از طریق کوپلینگ به محرکه (موتور الکتریکی،توربین، موتورهای دیزلی ویا بنزینی) متصل است و پروانه را می چرخاند.
- سطح خارجی محور باید کاملا صاف و صیقلی باشد تا اجزایی که قرار است روی آن نصب شوند، بدقت و بدون لقی بر روی آن قرار گیرند.
- مصالح محور معمولا از جنس فولاد آهنگری است.

پروانه(impeller)

- پروانه یکی از مهمترین اجزای پمپ هایگریز از مرکز است که انرژی مکانیکی اعمال شده را به انرژی جنبشی سیال تبدیل می کند.
- نحوه کار آن بر اساس نیروهای گریز از مرکز است که بر اثر حرکت دوران محور روی سیال اعمال می شود و باعث افزایش انرژی جنبشی سیال و جدا شدن آن از لبه پروانه و وارد شدن آن به محفظه Casing جهت کاهش سرعت و بازیابی فشار می شود.
- در حین کار کردن پمپ، قسمتی از پروانه دوار تحت فشار ورودی پمپ(چشمه ورودی پمپ) و قسمت های دیگر در معرض فشار خروجی قرار دارد که فاصله بین آنها توسط حلقه های فرسایشی آب بندی می شود.
- بیشتر پروانه ها از جنس چدن هستند.برای مایعات خورنده از پروانه با جنس فولاد ضد زنگ، پلاستیک وآلیاژهای دیگر استفاده می شود.
- می توان پروانه ها را به سه نوع زیر دسته بندی کرد:
  - پروانه های باز
  - پروانه های نیمه باز
  - پروانه های بسته



پروانه بسته　　پروانه نیمه باز　　پروانه باز

- پروانه باز(open impeller)
  - این پروانه از تعدادی پره بدون پوشش تشکیل شده است.در این نوع پروانه، تلمبه کار پوشش پره ها را انجام می دهد.
  - پروانه باز معمولا در عملیات لایه روبی وپمپاژ مایعاتی که دارای ماده خارجی اضافی هستند به کار می رود.

- پروانه نیمه باز(semi-open impeller)
  - پره های این پروانه ها، فقط روی یک صفحه پوشیده شده قرار دارند و پوشش طرف دیگر را بدنه پمپ تشکیل می دهد.
  - پروانه نیمه باز، برای پمپاژ مایعات تصفیه نشده که احتمال وجود رسوبات و ذرات معلقی را در خود دارند استفاده می شود.

- پروانه بسته (closed impeller)
  - پره های این نوع پروانه میان دو صفحه قرار گرفته است.
  - این نوع پروانه ها به صورت گسترده استفاده می شوند.

برخی از موارد استفاده این پروانه ها عبارتست از:

- پمپاژ آب معمولی
- پمپاژ آب گرم
- پمپاژ روغن داغ
- پمپاژ مواد شیمیایی نظیر اسیدها و ...

- پروانه بسته از نظر تعداد چشمه ورودی مایع(suction eye)

به صورت یک چشمه ای و دو چشمه ای ساخته می شوند.

کوپلینگ (coupling)

- در اکثر پمپ های گریز از مرکز، محور پمپ و محور محرکه، بوسیله ی کوپلینگ به هم متصل می شوند.
- مهمترین ویژگی کوپلینگ ها این است که باید قابل انعطاف باشند، زیرا:
  - علاوه بر اینکه دو محور محرکه و پمپ را به هم متصل می کنند، باید بتوانند نوساناتی که از محرک به پمپ وارد می شود را حنثی کنند.
  - در صورتیکه محور ها به طور کامل میزان نشده باشند، باید بتواند این نامیزانی را جبران کند.

کوپلینگ انعطاف پذیر

روپوش محور (shaft sleeve)

- در پمپ های گریز از مرکز، محور را باید در مقابل خطرات ناشی از خواص خورندگی مایع پمپ شونده و یا ساییدگی حفظ کرد.برای همین منظور در محل های زیر از روپوش محور استفاده می شود:
  - در محفظه آب بندی
  - در نقاط اتصال یاتاقان های داخلی
  - بین دو پروانه در پمپ های چند مرحله ای
- در محل های فوق، روی محور روپوش های قابل تعویضی نصب می کنند و در هنگام فرسوده شدن آن را تعویض می کنند.

نمونه هایی از روپوش محور

حلقه های سایشی (wear ring)

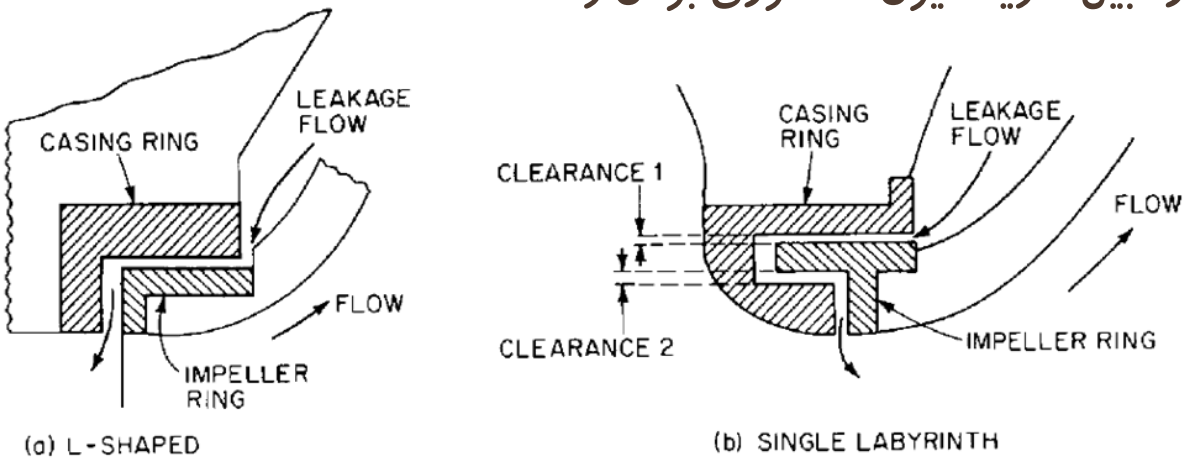
- از این نوع حلقه ها، جهت آب بندی قسمت های داخلی پمپ های گریز از مرکز برای جلوگیری از نشتی های داخلی از قسمت فشار بالا(discharge) به سمت فشار پایین(suction) پروانه پمپ استفاده می شود.

- اگر فاصله بین دو قسمت مذکور، آب بندی نشود ، مایع خروجی از پمپ مجددا وارد چشمه پروانه می شود و باعث کاهش فشار و دبی خروجی پمپ می شود.
- برای جلوگیری از نشت مایع باید پروانه طوری در بدنه نصب شود که مایع نتواند از فاصله بین لبه بیرونی چشمه پروانه وارد چشمه پروانه شود و در عین حال پروانه نیز بتواند به طور آزاد با حداقل فاصله نسبت به بدنه بچرخد.
- با توجه به اجتناب ناپذیر بودن مسائل اصطکاکی و سایش به دلیل نفوذ ذرات جامد و ... ، لبه بیرونی چشمه پروانه و بدنه بعد از مدتی در اثر ساییدگی پروانه و بدنه باید تعویض شوند و یا مورد جوشکاری و بازسازی قرار گیرند.برای جلوگیری از این مشکلات دو حلقه سایشی به صورت زیر نصب می شوند:
  - یکی حلقه سایشی که روی پروانه نصب می شود(impeller wearing ring)
  - و دیگری حلقه سایشی که روی بدنه پمپ نصب می شود(casing wearing ring)
- بین دو حلقه سایشی فوق یک فاصله بسیار کم(clearance) وجود دارد که این فاصله به عوامل زیر بستگی دارد:
  - قطر چشمه پروانه
  - درجه حرارت مایع پمپ شونده
  - جنس حلقه های سایشی

- در عمل همیشه باید مقداری نشتی از بین حلقه های سایشی وجود داشته باشد که این مقدار نباید بیشتر از ۵ درصد مایع پمپ شونده باشد.
- فاصله حلقه های سایشی از یک طرف باید آنقدر کم باشد تا مانع از خروج مایع شود.از طرف دیگر باید به اندازه کافی فاصله داشته باشد تا حلقه های فرسایشی با هم تماس نداشته باشند.
- در پمپ های گریز از مرکز، فضایی بین پروانه و بدنه وجود دارد که پروانه را قادر می سازد تا بدون سایش با بدنه، به چرخش خود ادامه دهد و فشار مورد نظر را تولید کند، ولی از طرف دیگر در پمپ های چند مرحله ای این فضای خالی موجب نفوذ بیش از حد مایع از یک خروجی به ورودی پروانه بعد می شود که کاهش بازدهی پمپ را به همراه دارد.برای حل این مشکل از حلقه سایشی استفاده می شود.
- معمولا حلقه های سایشی از فلزات زیر ساخته می شوند:
  - فولاد
  - چدن-برنج

نمونه ای از حلقه سایشی

- عوامل زیر موجب خرابی حلقه های سایشی می شوند:
  - نامناسب بودن جنس یا فاصله بین حلقه ها با شرایط پمپ
  - وجود ذرات جامد و گیر افتادن آنها بین حلقه ها به دلیل استفاده نشدن از مش مناسب در ورودی پمپ
  - توزیع نا متناسب فاصله ها در حلقه در قسمت های مختلف
  - وجود تنش های سیستم لوله کشی روی بدنه پمپ
  - گرم کردن نامتعادل و ناگهانی پمپ
  - خورندگی مایع
  - ایجاد تماس بین حلقه ها بدلیل بدون مایع کار کردن پمپ
  - مسائل ارتعاشی از قبیل کاویتاسیون، نامحوری بودن و ...



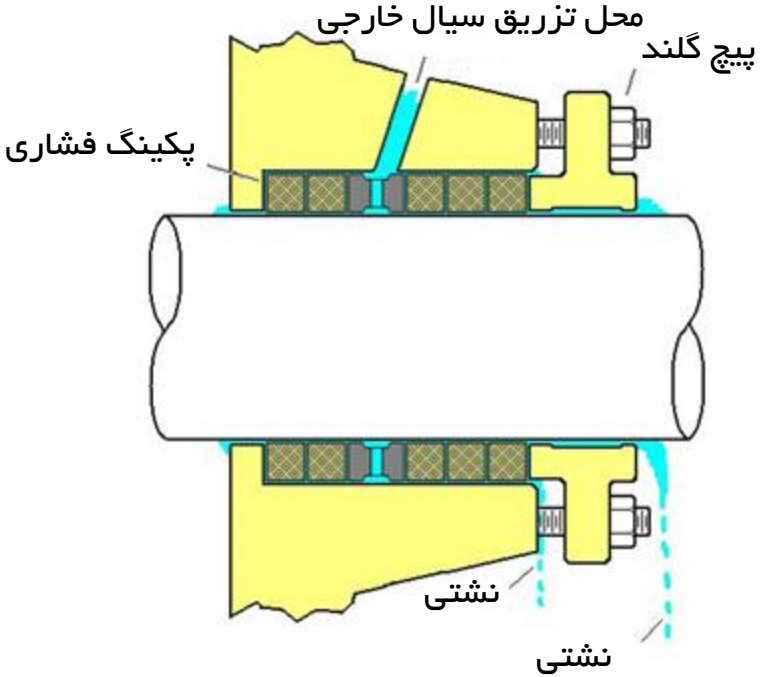
نمونه هایی از حلقه سایشی

نشت بند(seal)

- در پمپ ها به دلایل زیر از نشت بند استفاده می شود:
  - جلوگیری از نشت مایع به خارج از پمپ در صورتی که فشار داخل پمپ بیشتر از فشار محیط باشد.
  - جلوگیری از نفوذ هوا به داخل پمپ در صورتی که فشار پمپ کمتر از فشار محیط باشد.
- نشت بند در پمپ های گریز از مرکز معمولا به صورت های زیر است:
  - پکینگ ها(packing)
    - پکینگ فشاری
    - پکینگ تزریقی
  - نشت بند مکانیکی(mechanical seal)
- به محفظه ای که قطعات نشت بندی در آن قرار می گیرند، stuffing box یا محفظه نشت بندی می گویند.

پکینگ های فشاری(compression packing)

- پکینگ ها از الیاف نرم و انعطاف پذیر مانند پنبه نسوز، الیاف کتانی، ساخته شده اند، و معمولا در پمپ های گریز از مرکز و شیر ها(valve) استفاده می شوند.
- سطح مقطع این نوع پکینگ ها معمولا بصورت مربع مستطیل است.این نوع پکینگ ها در صورت فشرده شدن با استفاده از سفت کردن پیچ گلند(gland)،از عبور سیال جلوگیری می کنند.
- این نوع پکینگ ها در صورتی که به صورت اصولی نصب و تنظیم شوند،از لحاظ اقتصادی برای مایعاتی نظیر آب بسیار مقرون به صرفه اند.
- جهت کاهش اصطکاک ، می توان این پکینگ ها را با گرافیت آغشته کرد.
- جنس این نوع پکینگ ها به عوامل زیر بستگی دارد:
  - درجه حرارت
  - فشار،
  - دور پمپ
  - خورندگی مایع



- مزایای پکینگ فشاری
  - ارزان قیمت هستند.
  - به راحتی نصب می شوند.
  - برای فشار و سرعت پایین کارایی بهتری دارند.
  - قادر به تحمل حرکت محوری زیاد هستند.
  - برخلاف نشت بندهای مکانیکی، خرابی آنها را پیش بینی کرد.
  - به دلیل کم بودن فاصله بین پکینگ و محور، خود پکینگ به عنوان یک یاتاقان عمل می کند و خرابی یاتاقان ها کمتر است.
- معایب پکینگ فشاری
  - بدلیل خنک کردن از طریق انتقال حرارت تولید شده بین محور و پکینگ، روانکاری و ...، باید مقداری نشتی وجود داشته باشد.
  - به دلیل اینکه در معرض ساییدگی قرار می گیرد، نیاز به تعمیر و تعویض مداوم دارد.
  - در اثر تماس مداوم بین محور و پکینگ، در صورتی که پوشش محور نصب نباشد، موجب خرابی محور می شود.
  - به دلیل اصطکاک بین محور و پکینگ،استفاده از آن افت انرژی مکانیکی بالایی به دنبال دارد.
  - به دلیل اینکه نشتی دارند، برای مایعات سمی و آتش زا مناسب نیست.
  - برای فشارهای بالا مناسب نیست.
  - برای دورهای بالا به دلیل افزایش اصطکاک بین محور و پکینگ،استفاده از آن مناسب نیست.

پکینگ های تزریقی (injection packing)

- این نوع پکینگ ها اخیرا تولید شده اند.
- این پکینگ ها نسبت به پکینگ های فشاری شرایط کاری و طول عمر بالاتری دارند.
- بر خلاف پکینگ های فشاری که به صورت الیاف بافته هستند، این پکینگ ها به صورت الیاف رشته ای شکل،آغشته به مواد روان کننده هستند که به صورت غیر منظم بین شافت و داخل محفظه نشت بندی قرار می گیرند و با پر کردن این ناحیه کار نشت بندی را انجام می دهند.
- یک نمونه از این پکینگ ها، Kem-A-Trix است که
  - ترکیبی از فیبر های مصنوعی تقویت شده باکیفیت بالا همراه با روغن مخصوص است .
  - طوری ساخته شده که در مواقع نیاز روغن از ترکیب آزاد شده و دور محور را لایه نازکی از روغن بپوشاند.
  - این محصول خود، خنک کننده است.
  - روان کننده است و در پمپ ها، لوله ها و همزن ها بجای پکینگ و نشت بندی مکانیکی قابل استفاده است.

- **مزایای نشت بند Kem-A-Trix عبارتند از:**
  - **براحتی قابل جایگزین بجای پکینگ های فشاری و نشت بند های مکانیکی است.**
  - **خودروانکار و خودخنک کننده است.**
  - **تزریق کردن(پکینگ دادن) در حال کار دستگاه انجام می شود و از اینرو از اتلاف وقت و هزینه صرفه جویی می شود.**
  - **قابل استفاده روی محورهای خراب و فرسوده است.**
  - **نیاز به اعمال فشار ندارند.**
  - **قابل کاربرد در محور های دوار و رفت و برگشتی اند.**
  - **نیاز به تعویض ندارند.**
  - **برای هر اندازه ای از محور قابل استفاده اند.**
  - **حداقل نشتی(تقریبا صفر) را دارند.**
  - **قیمت آنها نسبت به نشت بند های مکانیکی کمتر است.**

نشت بندهای مکانیکی (mechanical seal)

- نشت بند مکانیکی، شامل دو صفحه کاملا صیقلی است، که مقابل هم و عمود بر محور نصب می شوند.
- یکی از دو صفحه ثابت و دیگری متحرک است.این دو صفحه بوسیله ی یک یا چند فنر در تماس با یکدیگر هستند.
- برای از بین بردن اصطکاک بین دو صفحه از مایع درون دستگاه استفاده می شود تا لایه بسیار نازکی بین دو صفحه قرار گیرد.

- مزایای نشت بندهای مکانیکی:
  - نشتی بسیار کمی دارند(در حد چند cc در ساعت)
  - هزینه نگهداری پایین
  - عدم نیاز به تنظیم و تعمیر مداوم
  - کم بودن سایش محور یا روپوش محور
  - تحمل فشار و سرعت های بالا
  - قابل استفاده برای انواع مایعات
  - دارا بودن خاصیت خود تمیز کنندگی(self cleaning)

- کاهش آلودگی زیست محیطی
- کاهش خرابی یاتاقان ها ناشی از آلودگی روغن
- کاهش خوردگی ناشی از نشت فواره ای
- کاهش تلفات مکانیکی(به دلیل کم بودن سطوح تماس با یکدیگر)

➢ معایب نشت بندهای مکانیکی:

- بالا بودن هزینه نصب اولیه
- عدم تحمل حرکت های محوری زیاد
- نصب و باز کردن آن مشکل است
- خرابی ناگهانی که باعث نشت ناگهانی می شود

یاتاقان (bearing)

➢ یاتاقان ها اجزایی هستند که به طور کلی نگاهدارنده محور و کاهش دهنده اصطکاک آن به هنگام چرخش هستند.همچنین جهت محدود کردن حرکت محوری و شعاعی بکار گرفته می شوند.

یاتاقان لغزشی

- وظایف اصلی یاتاقان عبارتست از:
  - کنترل ، جذب و انتقال نیروهای شعاعی
  - کنترل ، جذب و انتقال نیروهای محوری
  - کاهش اصطکاک
  - قرار دادن محور در یک موقعیت مناسب

- یاتاقان ها در دو دسته ی زیر طبقه بندی می شوند:
  - یاتاقان لغزشی که در آن محور روی لایه نازکی از روغن که بر روی یاتاقان وجود دارد می چرخد.
  - یاتاقان چرخشی(ساچمه ای) که اخیرا ساخته شده اند .

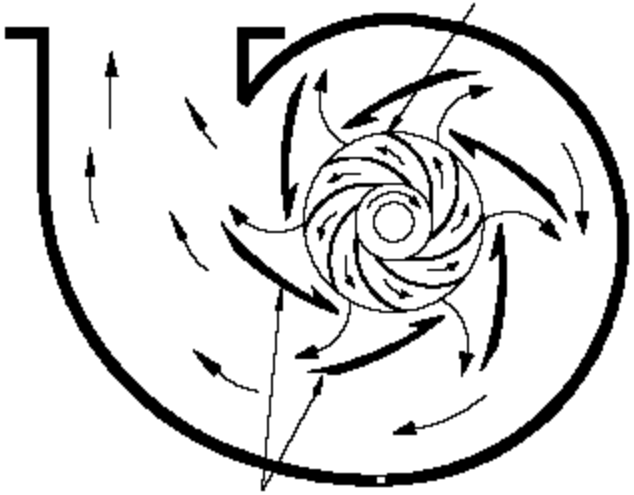
یاتاقان چرخشی

- ویژگی یاتاقان چرخشی
  - برای اکثر کارهای صنعتی(بارهای سبک و سنگین) مناسب اند.
  - به دلیل محدود بودن زمان کارکرد و عدم توانایی کار در دورهای بالا، هنوز به طور کامل جایگزین یاتاقان های لغزشی نشده اند.

افشاننده (diffuser)

- افشاننده، مجموعه ای از تیغه های ثابت است که درون پمپ در اطراف پروانه نصب می شود.
- افشاننده دارای تیغه هایی است که طوری طراحی شده اند که هرچه از مرکز دوران دورتر می شویم از هم بازتر می شوند و چون مقطع جریان بتدیج بازتر می شود سرعت افت کرده و فشار افزایش می یابد. این کار بازدهی پمپ را افزایش می دهد.
- افشاننده به ندرت در پمپ های گریز از مرکز یک مرحله ای نصب می شود و بیشترین کاربرد آن در پمپ های چند مرحله ای است.

پروانه در حال حرکت



تیغه های ثابت افشاننده

متعادل کردن حرکت محوری

- به طور کلی، پمپ گریز از مرکز، یک ماشین نامتعادل است.همه این پمپ ها در معرض یک حرکت محوری هستند.
- برای خنثی کردن این حرکت راه هایی وجود دارد که مهمترین آنها عبارتند از:
  - به کار بردن یاتاقان ضربه گیر(thrust bearing)
  - استفاده از پروانه دو چشمه ای
  - استفاده متوالی از پروانه ها(پشت سر هم بستن پروانه ها)
  - استفاده از پیستون تعادل piston balance
  - استفاده از دیسک تعادل disk balance

یاتاقان ضربه گیر

- در صورت استفاده از صفحه تعادل، در صورتی که نیروی محوری به پمپ وارد شود، صفحه تعادل(پیستون تعادل -دیسک تعادل)محور را بسمت جهت عکس ورودی هدایت می کند و بدینوسیله در پمپ تعادل بوجود می آورد.
- در حالت کلی، صفحه تعادل بعد از آخرین پروانه ، در محلی به نام محفظه تعادل نصب می شود.

اصول راه اندازی پمپ های گریز از مرکز

- بررسی پمپ قبل از شروع کار
  - اطمینان از درستی وضعیت شیرها و خط لوله های ورودی و خروجی
  - بررسی وضعیت روغن، لوله خنک کننده، فشار سنج ها، شیرهای تخلیه، یاتاقان ها، نشت بند ها
  - پرکردن پمپ از مایع پمپ شونده از طریق باز کردن شیر ورودی پمپ و بستن شیر خروجی و هواگیری پمپ
  - زمانی که فشار لوله خروجی بحد لازم رسید، می بایست شیر خروجی را باز کرد
  - در صورتی که محرک پمپ جریان برق است، باید شدت جریان را از طریق مشاهده آمپرسنج بررسی کرد

- بازرسی پمپ حین کار
  - فشار خروجی پمپ می بایست بررسی شود
  - پمپ از نظر نداشتن نشتی نیز باید بررسی شود
  - باید سطح روغن و گردش حلقه های روغن را بررسی کرد
  - بازرسی درجه حرارت یاتاقان ها
  - بررسی شدت جریان را از مشاهده طریق آمپرسنج

- متوقف کردن پمپ
  - ابتدا می بایست شیر خروجی پمپ بسته شود
  - بلافاصله نیرو محرکه پمپ را باید خاموش کرد
  - در انتها شیر ورودی مایع باید بسته شود

اشکالات متداول در پمپ های گریز از مرکز

- در حالت کلی می توان اشکالات عمده پمپ های گریز از مرکز را به صورت زیر دسته بندی کرد
  - مایع از پمپ خارج نمی شود
  - فشار مایع خروجی کافی نیست
  - فشار ورودی مایع کم است
  - لرزش بیش از حد پمپ
  - پمپ بیش از حد گرم می شود
  - یاتاقان پمپ بیش از حد گرم می شود

در ادامه علل عمده اشکالات فوق بیان می شود

رفع اشکال در پمپ های گریز از مرکز (troubleshooting)

- مایع از پمپ خارج نمی شود
  - پمپ هواگیری نشده است
  - ارتفاع مکش پمپ خیلی زیاد است
  - فیلتر ورودی دچار گرفتگی است
  - چشمه پروانه دچار گرفتگی شده است
  - سرعت دورانی پمپ خیلی کم است
  - پروانه از محور جدا شده است

- فشار مایع خروجی کافی نیست
  - سرعت دورانی پمپ خیلی کم است
  - مقداری هوا و گاز در مایع وجود دارد
  - حلقه های سایشی فرسوده شده و فاصله بین آنها زیاد شده است
  - چشمه پروانه دچار گرفتگی شده است
  - فیلتر ورودی دچار گرفتگی است

- فشار ورودی مایع کم است
  - ارتفاع ورودی برای خیلی زیاد است
  - کاهش ارتفاع مایع در مخزن ورودی
  - فیلتر ورودی دچار گرفتگی است
  - خرابی شیر ورودی
  - وجود گاز همراه با مایع
  - نشتی در مسیر ورودی

- لرزش بیش از حد پمپ
  - پمپ دچار کاویتاسیون شده است
  - نامیزانی کوپلینگ ها
  - نامناسب بودن محل نصب پمپ و محکم نبودن آن
  - محکم نبودن پروانه روی محور
  - عدم بالانس روتور
  - خمیدگی محور
  - مسدود شدن خروجی پمپ
  - بیش از حد بودن فاصله یاتاقان و محور
  - رسیدن به سرعت بحرانی (critical speed)

- پمپ بیش از حد گرم می شود
  - مایع درون پمپ کافی نیست و یا هوا در مایع است
  - خروجی پمپ بسته است
  - نرسیدن روغن به یاتاقان
  - سفت بودن بیش از حد پیچ های پمپ
  - کم بودن فاصله بین حلقه های سایشی

- یاتاقان پمپ بیش از حد گرم می شود
  - نرسیدن روغن کافی به یاتاقان ها
  - اشکال در سیستم خنک کنندگی یاتاقان
  - کم بودن بیش از حد فاصله یاتاقان و محور
  - اشکال در حلقه های روغن رسان
  - کمبود روغن یاتاقان و یا آلودگی روغن

فصل ۴
اصول محاسبات در پمپ ها

- تعاریف اولیه
  توان مصرفی
  توان تولیدی
  بازده پمپ

- اتصال(به هم بستن) پمپ ها

- منحنی مشخصه
  منحنی مشخصه پمپ
  منحنی مشخصه سیستم
  انواع منحنی مشخصه پمپ
  منحنی های مشخصه دیگر در پمپ های گریز از مرکز

- محاسبات در پمپ های رفت و برگشتی
  بازده در پمپ های رفت و برگشتی
  فاکتور پمپ
  دبی پمپ

فصل ۴ اصول محاسبات در پمپ ها

تعاریف اولیه:

- توان مصرفی:

معمولا از دو منبع الکتریکی و مکانیکی جهت تامین نیرو محرکه پمپ استفاده می شود.

موتور الکتریکی و توربین به ترتیب، منابع الکتریکی و مکانیکی جهت تامین انرژی دورانی و مکانیکی در پمپ ها هستند.

- ۱-توان الکتریکی مصرفی:
  - عبارتست از میزان انرژی الکتریکی مصرف شده توسط محرک الکتریکی در واحد زمان جهت تامین نیرو محرکه پمپ.
  - توان الکتریکی مصرفی که به آن توان ورودی

نیز گفته می شود به صورت روبرو تعریف می شود:

$$P_i = IV$$

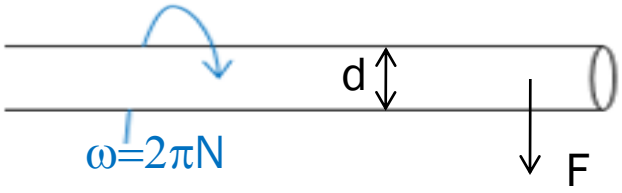
P_i ← توان ورودی بر حسب وات($W \equiv J/s$)

I ← شدت جریان بر حسب آمپر(A)

V ← اختلاف پتانسیل بر حسب ولت(V)

- از واحدهای مهم دیگر توان، اسب بخار(hp) است که داریم: $1\ hp = 746\ W$

- ۲-توان مکانیکی مصرفی:
  - عبارتست از میزان انرژی مکانیکی مصرف شده توسط محرک مکانیکی در واحد زمان جهت تامین نیرو محرکه پمپ.
  - توان مکانیکی مصرفی که به آن توان ورودی



نیز گفته می شود به صورت زیر تعریف می شود:

P_i ← توان ورودی بر حسب وات(W ≡ J/s)

$$P_i = Fd\omega$$

F ← نیروی لازم جهت دوران محور(N)

d ← قطر محور(m)

ω ← بسامد زاویه ای (1/s)

- بسامد زاویه ای نیز به صورت روبرو تعریف می شود

$$\omega = 2\pi dN$$

که در آن π، عدد پی(π ≈۳/۱۴) و N تعداد دور محور در ثانیه است.

- مثال:

جهت تامین نیرو محرکه در یک پمپ گریز از مرکز با قطر محور 4cm از یک توربین استفاده شده است.
محور با تعداد دور بر دقیقه 5000 RPM به دوران درآمده است.
در صورتی که نیروی وارد شده به محور برابر با 100N باشد، میزان توان مصرفی در پمپ را محاسبه کنید.

حل

ابتدا بسامد زاویه ای را محاسبه می کنیم:

$$\omega = 2\pi N = 2 \times 3.14 \times \frac{5000}{1\min} \times \frac{1\min}{60s} = 523.33 s^{-1}$$

در نهایت توان مصرفی را محاسبه می کنیم

$$P_i = Fd\omega = 100 \times .04 \times 523.33 = 2093.33\text{W} \rightarrow P_i = 2.09 KW$$

- توان تولیدی:
  - عبارتست از میزان انرژی ای که پمپ در واحد زمان به مایع منتقل می کند.
  - توان تولیدی که، توان خروجی و توان هیدرولیک نیز نامیده می شود، به صورت زیرتعریف می شود:

$$\boxed{P_o = P_h = \Delta P \times Q}$$

- در رابطه روبرو:

$$P_o = P_h = \Delta P \times Q$$

P_o ← توان خروجی بر حسب وات(W) که توان هیدرولیک(P_h) نیز نامیده می شود.

ΔP ← اختلاف فشار مایع در دو سر پمپ بر حسب پاسکال(Pa)

Q ← دبی مایع بر حسب متر مکعب بر ثانیه(m^3/s)

- مثال:

رابطه اخیر را به صورت رابطه ای جدید بیان کنید که در آن، اختلاف فشار بر حسب psi ، دبی بر حسب گالن بر دقیقه و توان نیز بر حسب اسب بخار(hp) باشد؟

تبدیل واحدها ی مهم : $1hp=746\ W$ ،$1atm=14.7psi=1.01325bar$, $1bar=10^5\ Pa$

حل:

جهت تبدیل واحد برای یک رابطه باید مراحل زیر را انجام داد:

۱)بدست آوردن رابطه از واحد های مقصد به واحد های مرجع

۲)قرار دادن واحد های مقصد در رابطه

۳)تبدیل واحد از واحد های مقصد به واحد های مرجع و بدست آوردن ضریب رابطه

رابطه از واحد های مقصد به واحد های مرجع به صورت زیر است:

$$P_h(hp) = 746\, P_h(W)$$

$$\Delta P(psi) = \Delta P(psi) \times \frac{1atm}{14.7psi} \times \frac{1.01325bar}{1atm} \times \frac{10^5\, pa}{1bar} = 6892.86\,\Delta P(pa)$$

$$Q(gal/min) = Q\frac{gal}{min} \times \frac{3.785lit}{1gal} \times \frac{10^{-3}m^3}{1lit} \times \frac{1min}{60s} = 6.308\times10^{-5}\,Q(m^3/s)$$

حال، رابطه با واحد های مقصد را می نویسیم:

$$P_h(hp) = \Delta P(psi) \times Q(gal/\min)$$

در نهایت، تبدیل واحدها را اعمال کرده و ضریب را بدست می آوریم:

$$P_h(hp) = \Delta P(psi) \times Q(gal/\min) \rightarrow 746P_h = 6892.8\Delta P \times 6.308\times10^{-5}Q$$

که در آن:

P_o ← توان هیدرولیک بر حسب اسب بخار(hp)

ΔP ← اختلاف فشار مایع در دو سر پمپ بر حسب پوند بر اینچ مربع(psi)

Q ← دبی مایع بر گالن بر دقیقه(gal/min=GPM)

$$P_h = \frac{\Delta P \times Q}{1714}$$

- **مثال:**

یک پمپ گریز از مرکز، جهت پمپاژ نفتی با دبی ۶۰ گالن بر دقیقه به کار رفته است.در صورتی که اختلاف فشار دو سر پمپ، 230 psi باشد،توان مصرفی پمپ را بر حسب اسب بخار محاسبه کنید؟

حل:

مطابق رابطه قبل داریم:

$$P_h = \frac{\Delta P \times Q}{1714} = \frac{230 \times 60}{1714} = 8.05 hp$$

- **بازده پمپ:**
  - **به صورت نسبت توان مفید(توان هیدرولیک)، به توان مصرفی تعریف می شود.**
  - **بازده، از نظر ریاضی به صورت زیر تعریف می شود:**

$$\eta = \frac{P_h}{P_i} = \frac{\Delta PQ}{IV}$$ ⟵ در صورتی که محرک از نوع الکتریکی باشد

$$\eta = \frac{P_h}{P_i} = \frac{\Delta PQ}{2\pi N}$$ ⟵ در صورتی که محرک از نوع مکانیکی باشد

  - **بازده پمپ، همواره عددی بین صفر و یک است($0<\eta<1$).**
  - **بازده درصدی پمپ($\eta\%$)، از ضرب بازده در عدد ۱۰۰ بدست می آید:**

$$\eta\% = \eta \times 100$$

- تمرین:

برای تامین نیرو محرکه یک پمپ با ظرفیت 2.2×10^{-3} متر مکعب بر ثانیه ،جریان الکتریکی با شدت جریان ۳۰ آمپر،و اختلاف پتانسیل ۲۲۰ ولت به یک موتور الکتریکی اعمال شده است.

اگر اختلاف فشار دو سر پمپ، 10^6پاسکال باشد، بازده پمپ چقدر است؟

الف)۰/۲۵ ب)۰/۳۳ ج)۰/۵ د)۰/۶۶

- تمرین:

پمپی با قطر محور 5cm و توان تولیدی 6.28KW ،دارای بازده ۴۰ درصد است.

در صورتی که نیروی اعمال شده به محور در این پمپ برابر با 500N باشد، تعداد دور در ثانیه پمپ چقدر است؟ (π =۳/۱۴)

الف)۱۰۰ ب)۲۰۰ ج)۲۵۰ د)۵۰۰

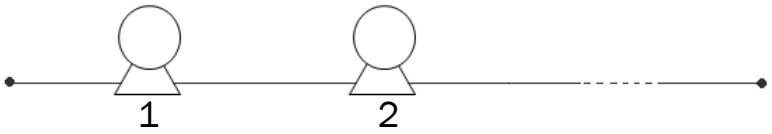
اتصال(به هم بستن) پمپ ها

پمپ ها را می توان به دو صورت متوالی(سری،خطی) و موازی به هم بست.

- اتصال سری پمپ ها
  - در این حالت روابط زیر برقرار است:

$$\Delta P_1 + \Delta P_2 + \ldots + \Delta P_n = \Delta P_t$$

$$Q_1 = Q_2 = \ldots Q_n = Q_t$$



که در آن:

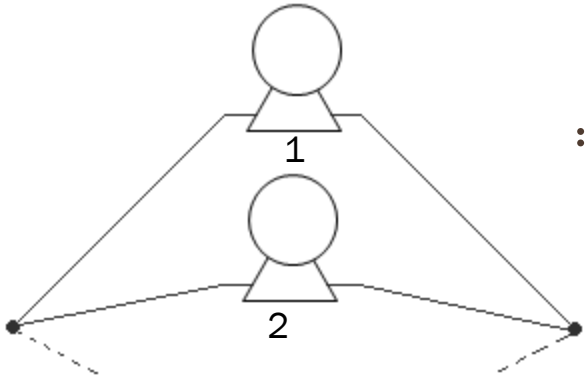
Q_t : دبی کل سیستم

ΔP_t : اختلاف فشار کل سیستم

- اتصال موازی پمپ ها
  - برای اتصال موازی نیز:

$$\Delta P_1 = \Delta P_2 = \ldots = \Delta P_n = \Delta P_t$$

$$Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n = Q_t$$



منحنی مشخصه پمپ(pump characteristic curve)

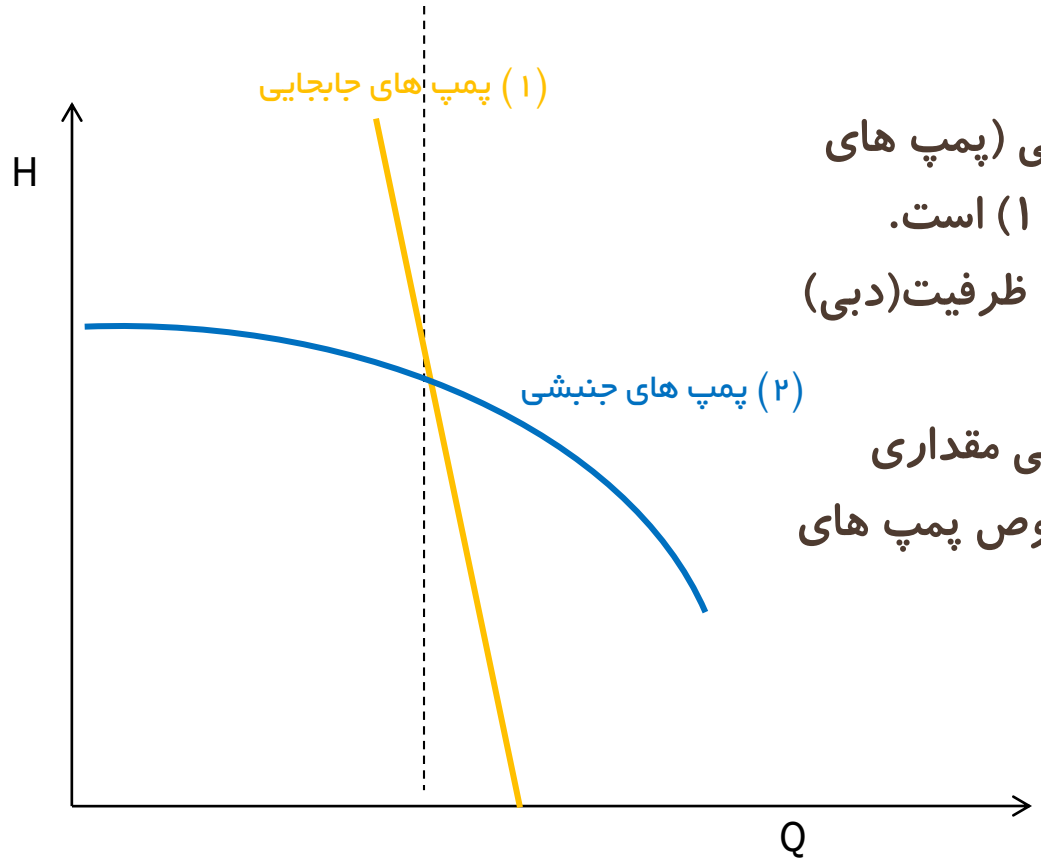
- برای هر نوع پمپی، می توان منحنی ای رسم کردکه در آن تغییرات انرژی، فشار و یا هد فشاری بر حسب دبی را نشان می دهد.

به این منحنی ، منحنی مشخصه پمپ می گویند.

- با توجه به شکل روبرو:
  - منحنی مشخصه در پمپ های جابجایی (پمپ های رفت و برگشتی یا دوار) به صورت نمودار (۱) است.

بر این اساس برای پمپ های نوع جابجایی، ظرفیت(دبی) پمپ مقداری نسبتا ثابت است.

  - بنابراین در مواردی که لازم است، دبی مقداری ثابت باشد، پمپ های نوع جابجایی، به خصوص پمپ های دیافراگمی انتخاب مناسبی هستند.

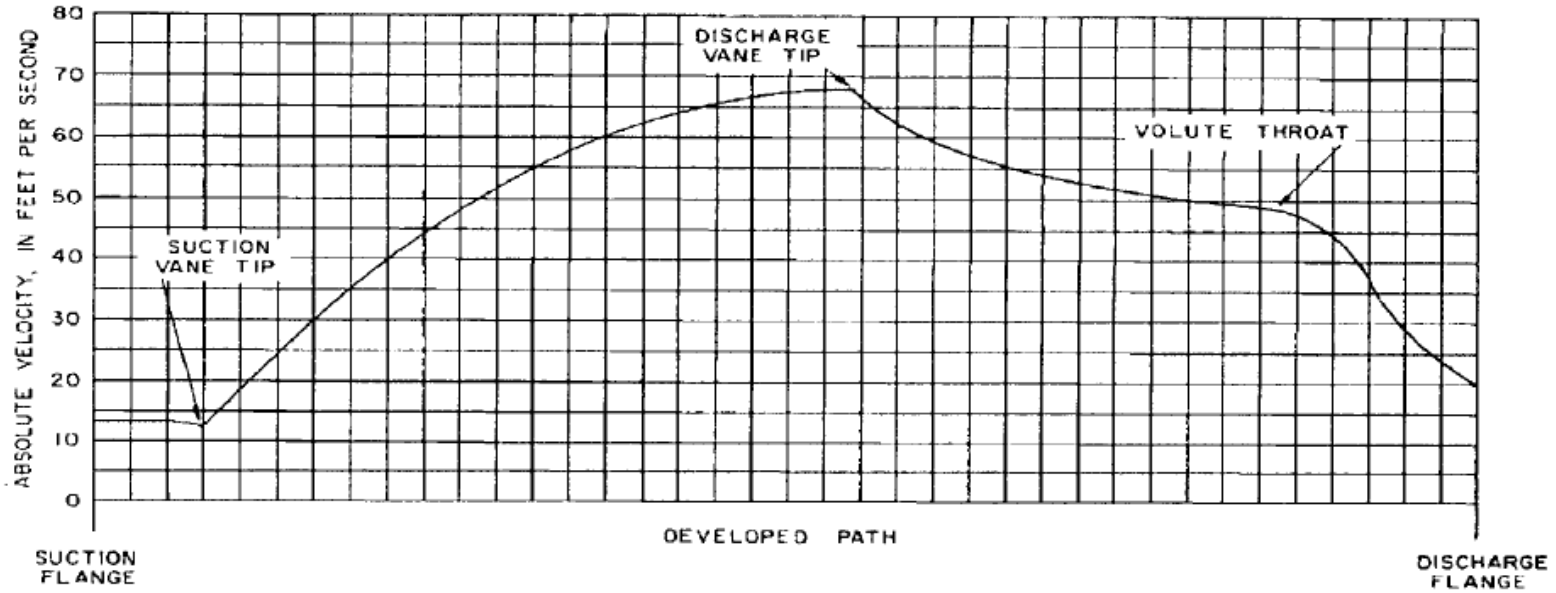


- منحنی مشخصه در پمپ های دینامیک، مانند پمپ های گریز از مرکز به صورت نمودار (۲) است.بنابراین، در پمپ های گریز از مرکز می توان بر اساس تغییر مقدار انرژی اضافه شده به مایع، دبی آن را به خوبی کنترل کرد.

➢ جهت کنترل میزان انرژی اضافه شده به مایع در پمپ های گریز از مرکز، می توان از اجزای زیر استفاده کرد:

- شیپوره(volute) که قسمتی حلزونی شکل در پوسته پمپ است.در آن به دلیل افزایش تدریجی سطح مقطع، انرژی جنبشی به انرژی فشاری مایع تبدیل شده و فشار آن را افزایش می دهد.
- افشاننده(diffuser) نیز همانطور که در فصل قبل بررسی شد، مجموعه ای از تیغه های ثابت است که درون پمپ در اطراف پروانه نصب می شود.این تیغه ها طوری طراحی شده اند که هرچه از مرکز دوران دورتر می شویم از هم بازتر می شوند و چون مقطع جریان بتدیج بازتر می شود، سرعت افت کرده و فشار افزایش می یابد.

➢ شکل زیر، تغییرات سرعت مایع از دهانه مکش تا انتهای خروجی در پمپ گریز از مرکز را نشان می دهد.



تغییرات سرعت مطلق مایع در پوسته پمپ

- در شکل قبل، قسمت اول نمودار(از suction vane tip تا discharge vane tip) تغییرات سرعت در تیغه پروانه، و ادامه نمودار، تغییرات سرعت در پوسته پمپ، تا گردنه شیپوره(volute throat) و تا خروج از پمپ را نشان می دهد.
- همانطور که در شکل قبل دیده می شود، حداکثر سرعت در خروجی تیغه پروانه(discharge vane tip) است.

➢ در حالت کلی، بازده پمپ های گریز از مرکز از پمپ های نوع جابجایی کمتر است، ولی به دلایل زیر پمپ های گریز از مرکز بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند:

- قیمت پایین تری دارند.
- مایع خروجی از پمپ های رفت و برگشتی دارای ضربان(pulse) است، در صورتی که مایع خروجی از پمپ های گریز از مرکز، جریان یکنواختی دارد.

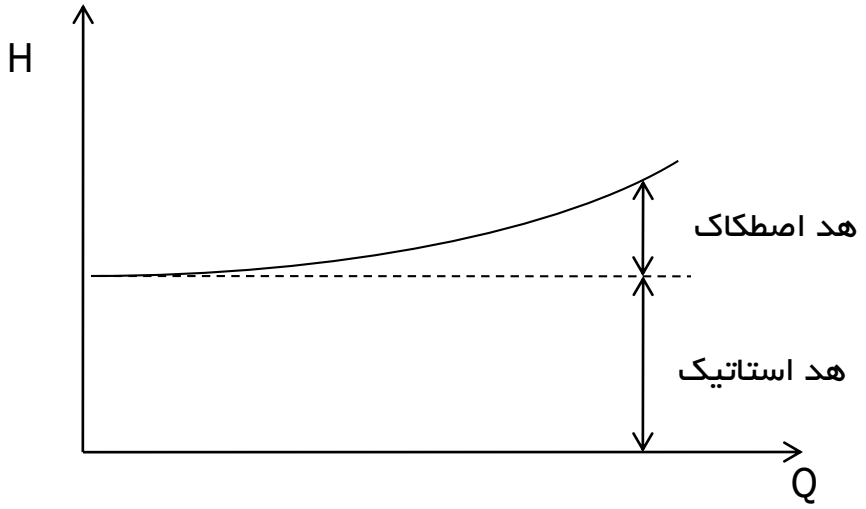
منحنی مشخصه سیستم(system characteristic curve)

- همانطور که در فصل ۱ بیان شد، هد کلی سیستم به صورت زیر است:

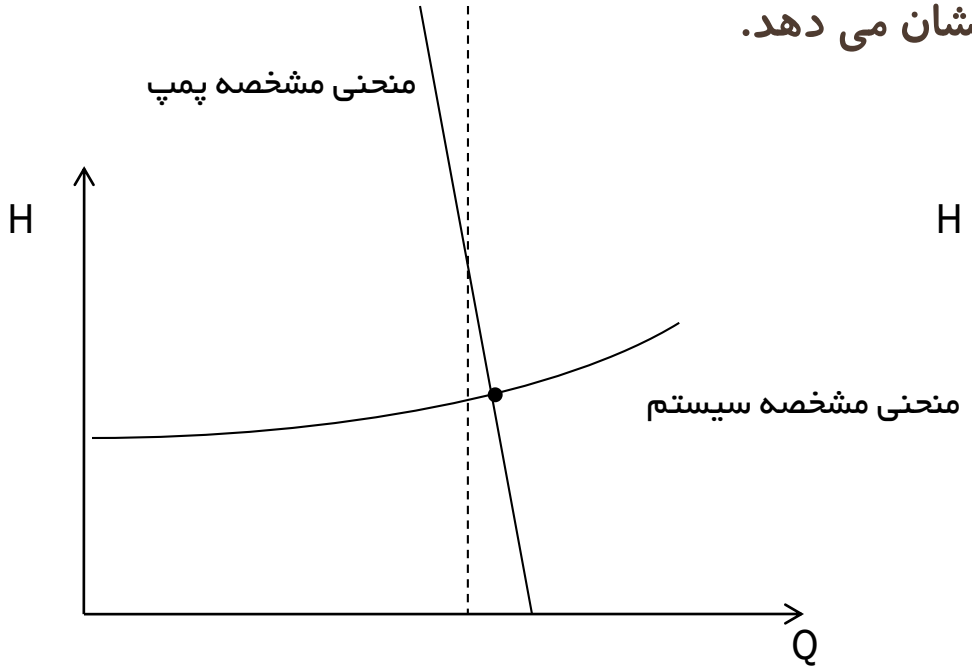
$$H = H_s + H_d + H_p + H_f$$

که در این میان، هد پتانسیل در پمپ تغییری نمی کند و تنها هد های استاتیک و دینامیک به ترتیب با تغییر فشار و سرعت می توانند تغییر کنند. تغییرات هد اصطکاک نیز معمولا نادیده گرفته می شود.

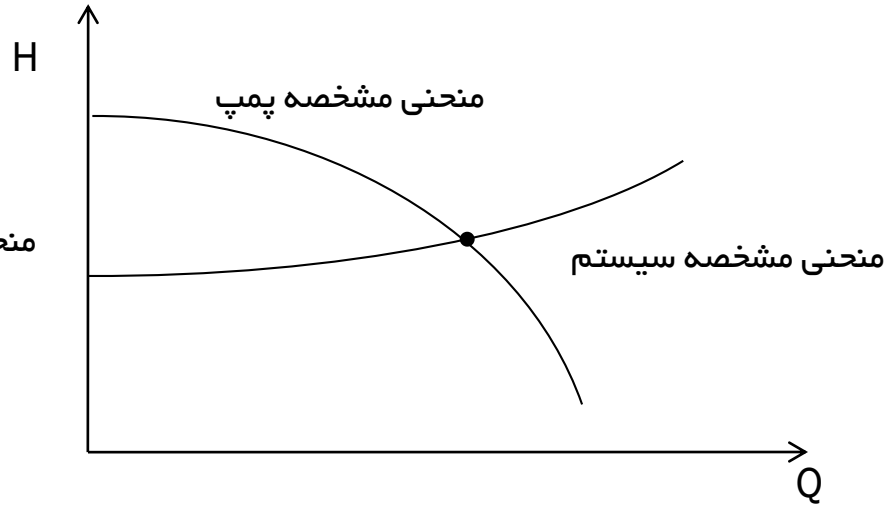
- منحنی مشخصه سیستم تغییرات هد کلی سیستم را بر حسب دبی نشان می دهد.
- در شکل زیر،تغییرات هد کلی با دبی نشان داده شده است:



- **نقطه کار**(operation point, duty point): **عبارتست از محل تلاقی منحنی مشخصه پمپ و منحنی مشخصه سیستم.**
- **شکل زیر نقطه کار را در دونوع مختلف پمپ نشان می دهد.**



نقطه کار در پمپ های جابجایی



نقطه کار در پمپ های جنبشی

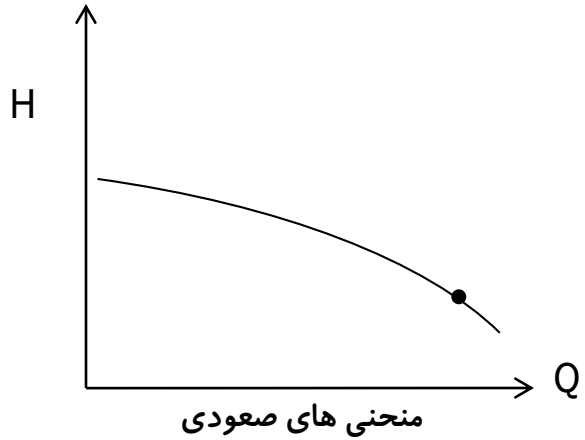
انواع منحنی مشخصه

- دسته بندی منحنی مشخصه در پمپ های گریز از مرکز

در پمپ های گریز از مرکز منحنی مشخصه را می توان به پنج دسته زیر تقسیم بندی کرد:

- منحنی های صعودی(Rising)

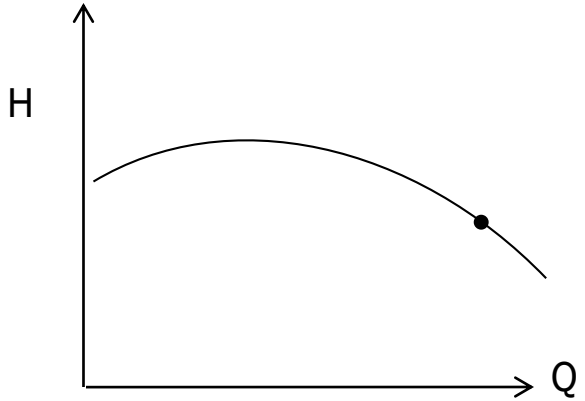
در پمپ های با منحنی صعودی با افزایش هد سیستم،
دبی پمپ به طور پیوسته کاهش می یابد.



منحنی های صعودی

- منحنی های نزولی(Drooping)

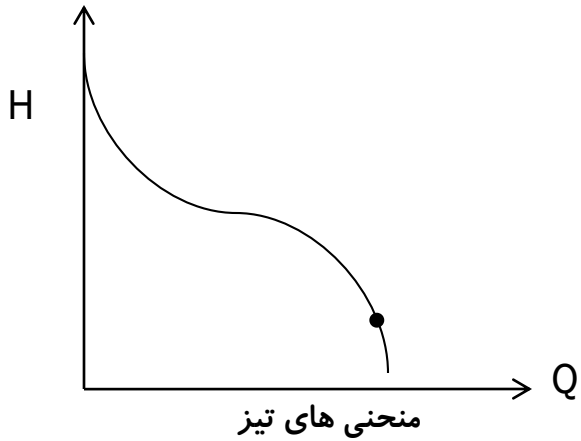
در پمپ های با منحنی مشخصه نزولی، هد قابل دسترس
در نقطه Q=0 حدکاثر هد نیست.
این منحنی ها را Looping نیز می نامند.



منحنی های نزولی

- منحنی های تیز(Steep)

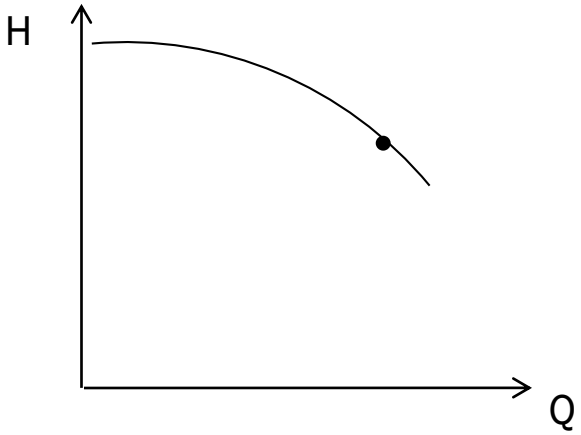
منحنی های تیز نیز صعودی هستند، با این تفاوت که تغییرات هد بین نقطه کار و شرایطی که شیر خروجی کاملا بسته باشد(Q=0) بسیار زیاد است.



منحنی های تیز

- منحنی های تخت(Flat)

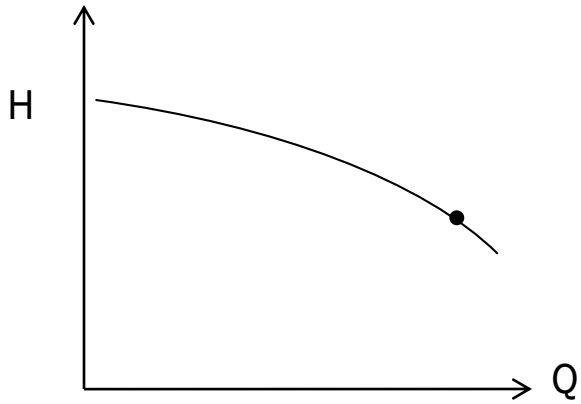
در این منحنی ها، تغییرات ارتفاع در یک دامنه وسیعی از دبی ناچیز است.



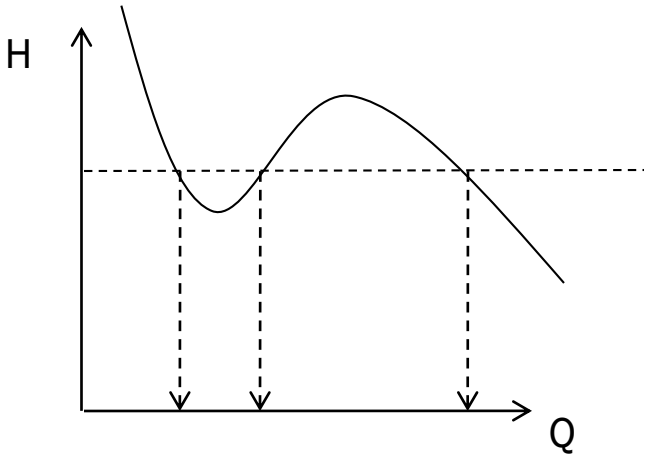
منحنی های تخت

- منحنی های پایدار (Stable)

در منحنی های پایدار در هر هد، همواره می توان یک دبی مشخص کرد.

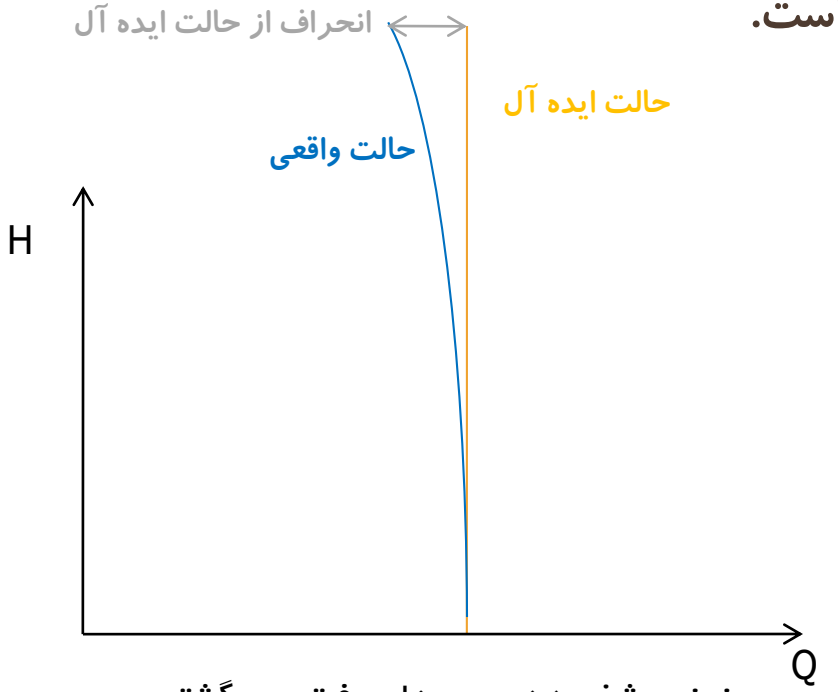


منحنی های پایدار



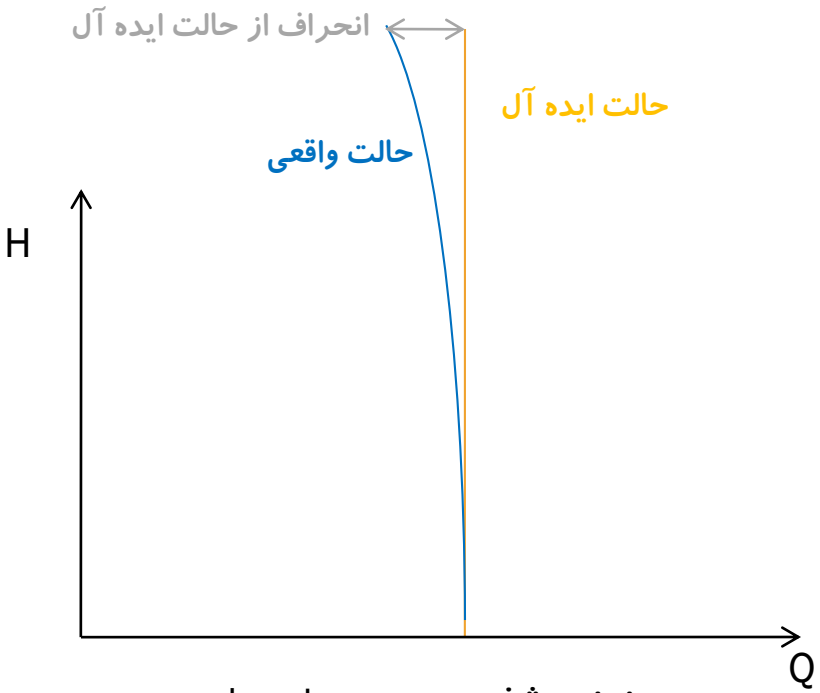
منحنی های ناپایدار

- منحنی مشخصه در پمپ های رفت و بر گشتی
- در شکل زیر منحنی مشخصه در یک پمپ رفت و برگشتی نشان داده شده است.



منحنی مشخصه در پمپ های رفت و بر گشتی

- منحنی مشخصه در پمپ های دوار
  - پمپ های دوار نیز دارای منحنی مشخصه ای مشابه پمپ های رفت و برگشتی هستند.
  - از نظر تئوری، منحنی مشخصه در پمپ های دوار باید به صورت خطی عمودی باشد، اما به دلیل افزایش نشتی داخلی با فشار این منحنی به صورت خطی با شیب منفی است.



منحنی مشخصه در پمپ های دوار

منحنی های مشخصه دیگر در پمپ های گریز از مرکز

در حالت کلی، به جز منحنی هد خروجی پمپ در مقابل دبی(H-Q diagram) منحنی های مهم زیر نیز در پمپ های گریز از مرکز وجود دارند:

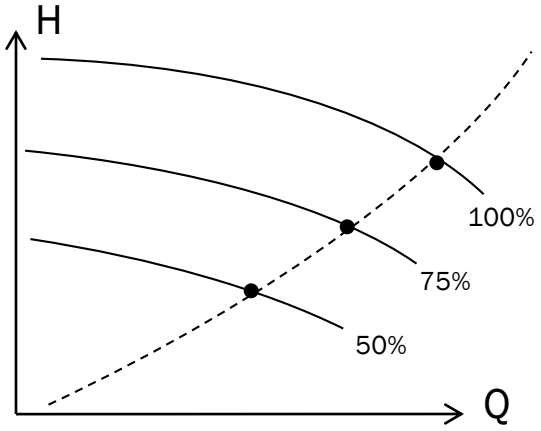
- منحنی توان مصرفی در مقابل دبی(P-Q Diagram)
- منحنی بازده در مقابل دبی(η-Q Diagram)

در شکل های زیر:

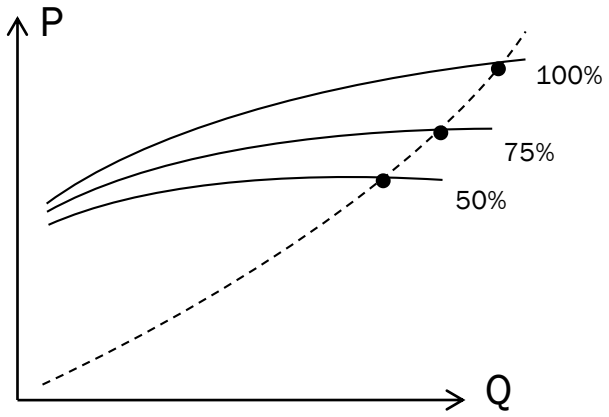
درصد مورد نظر ← میزان سرعت دوران را نشان می دهد.

---- ← منحنی مشخصه سیستم را نشان می دهد.

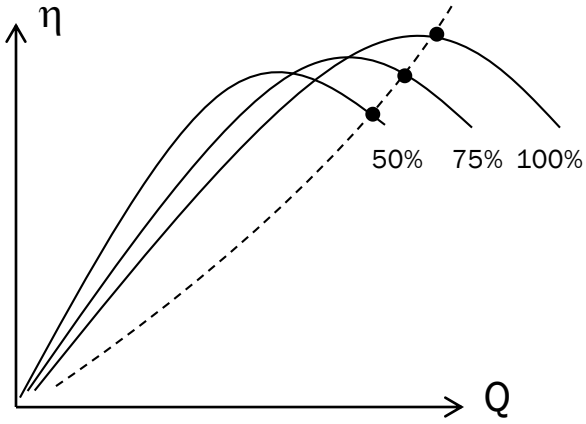
●← نقطه کار را مشخص می کند.



منحنی هد خروجی پمپ در مقابل دبی

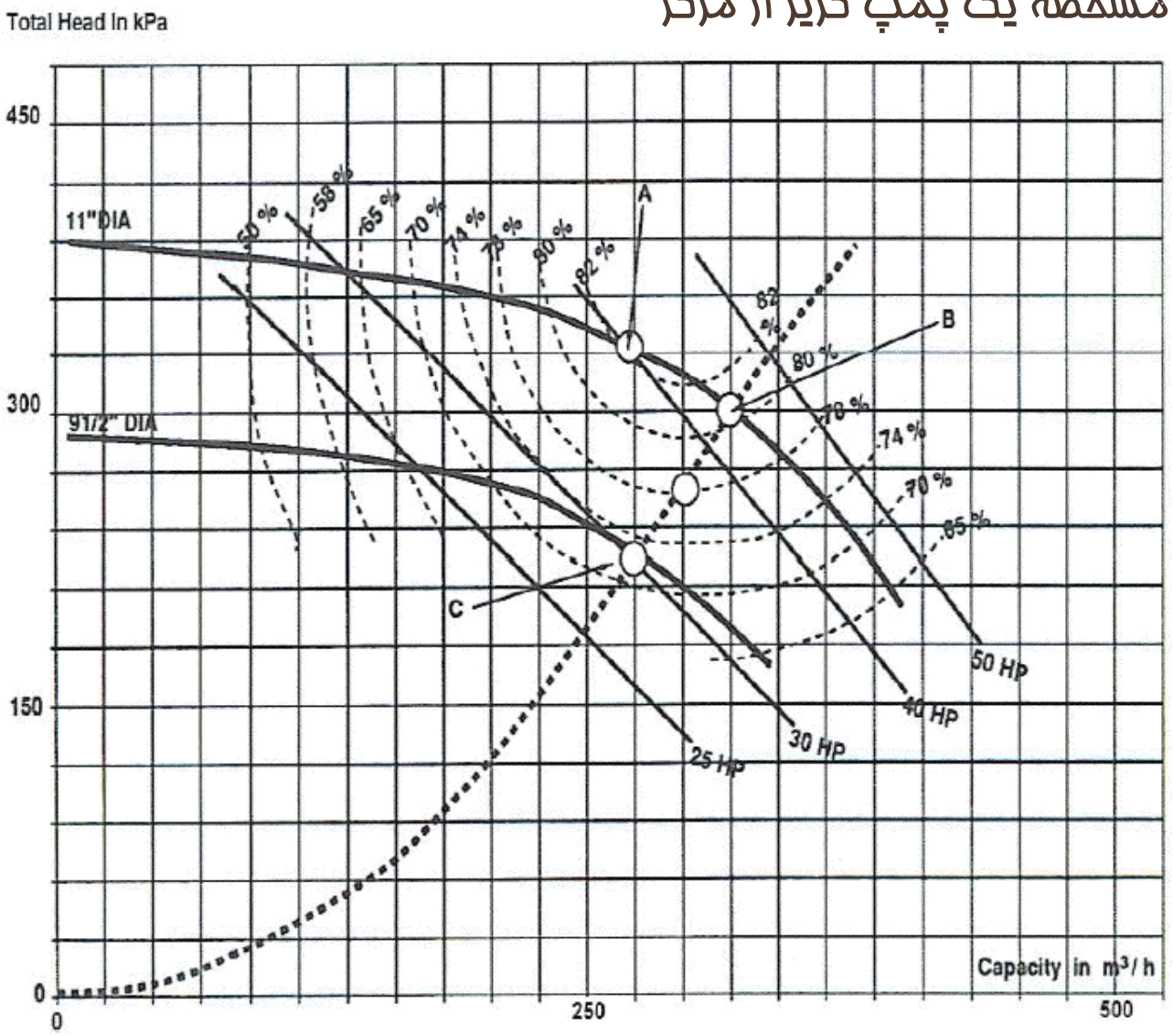


منحنی توان مصرفی در مقابل دبی

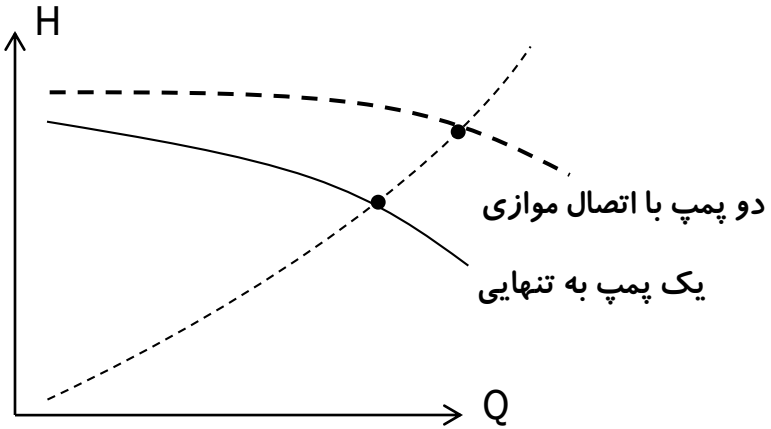


منحنی بازده در مقابل دبی

نمونه ای از منحنی مشخصه یک پمپ گریز از مرکز

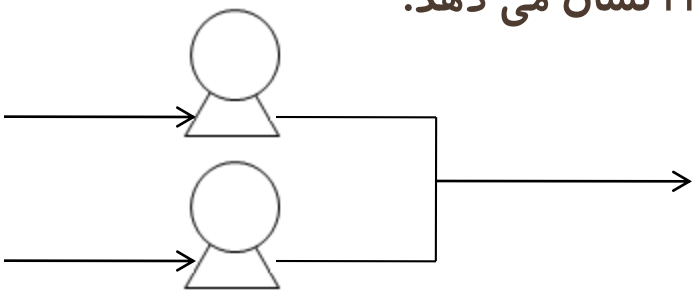


- با توجه به نمودارهای قبل می توان گفت:
  - در منحنی های "هد خروجی پمپ در مقابل دبی" و " منحنی توان مصرفی در مقابل دبی" ، با افزایش سرعت دوران:
    - هد خروجی و توان مصرفی افزایش می یابد.
    - دبی در نقطه کار افزایش می یابد.
  - در منحنی های "بازده در مقابل دبی":
    - تا جایی بازده افزایش می یابد و بعد از آن روند کاهشی دارد.
    - با افزایش سرعت دوران ، دبی در نقطه کار افزایش می یابد.

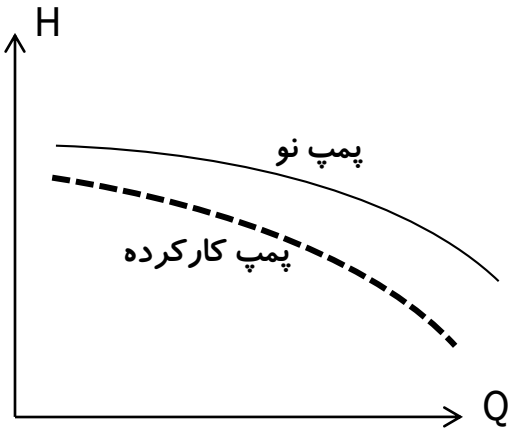


منحنی هد خروجی پمپ در مقابل دبی

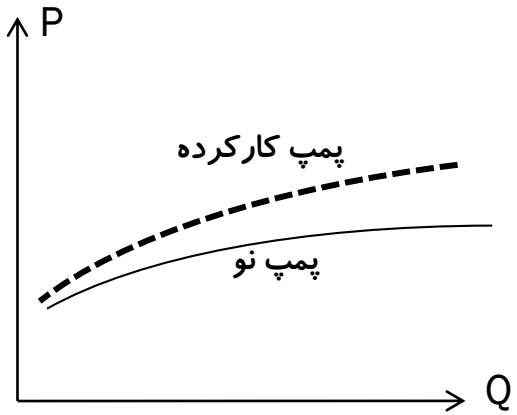
- شکل زیر، تاثیر اتصال موازی پمپ ها را بر نمودار H-Q نشان می دهد:



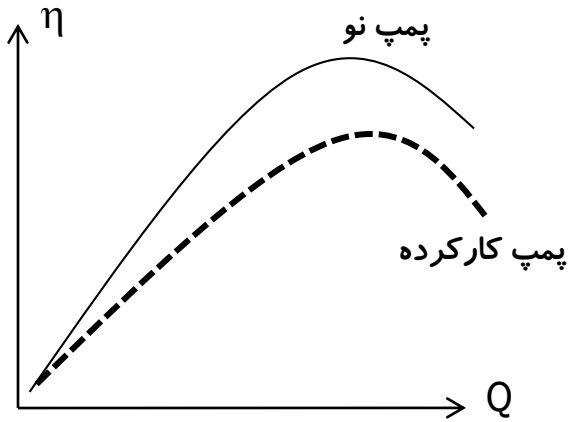
- تاثیر طول عمر پمپ بر منحنی های مشخصه پمپ به صورت زیر است:



منحنی هد خروجی پمپ در مقابل دبی



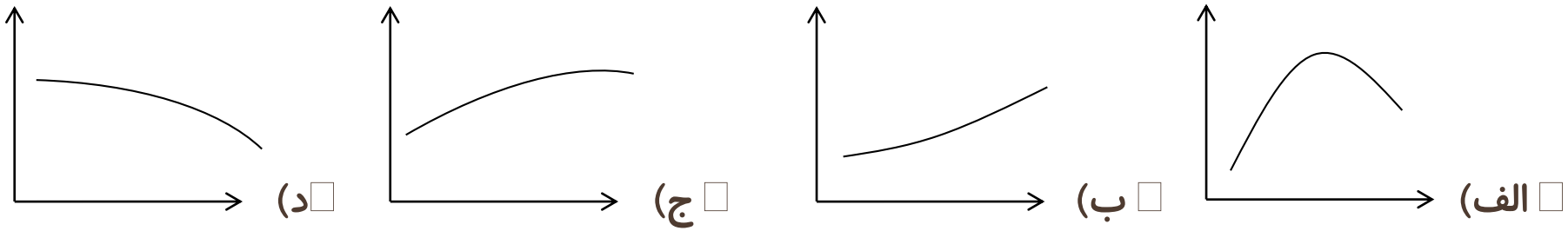
منحنی توان مصرفی در مقابل دبی



منحنی بازده در مقابل دبی

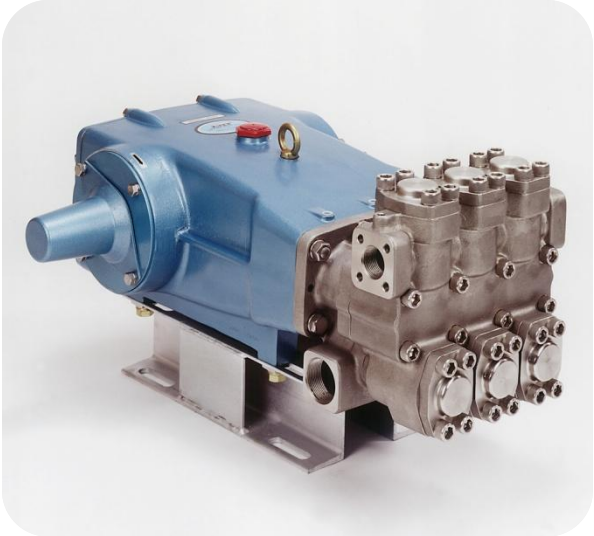
- تمرین:

منحنی هد خروجی پمپ در مقابل دبی (H-Q diagram) در پمپ گریز از مرکز به کدام صورت است؟

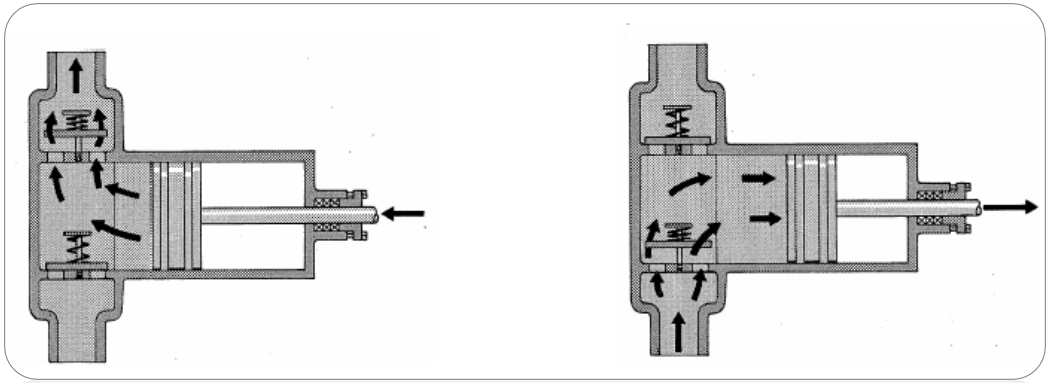


محاسبات در پمپ های رفت و برگشتی

- همانطور که در فصل های قبل بیان شد، پمپ های رفت و برگشتی پیستونی را می توان به دو دسته زیر تقسیم بندی کرد:
  - پمپ تک عملگره(single acting)
    - در این نوع پمپ، در هر رفت و برگشت، مایع تنها یکبار جابجا می شود.
    - این نوع پمپ ها، معمولا به صورت سه زمانه(triplex) ساخته می شوند.
    - در پمپ های سه زمانه، سه سیلندر به کار می رود.



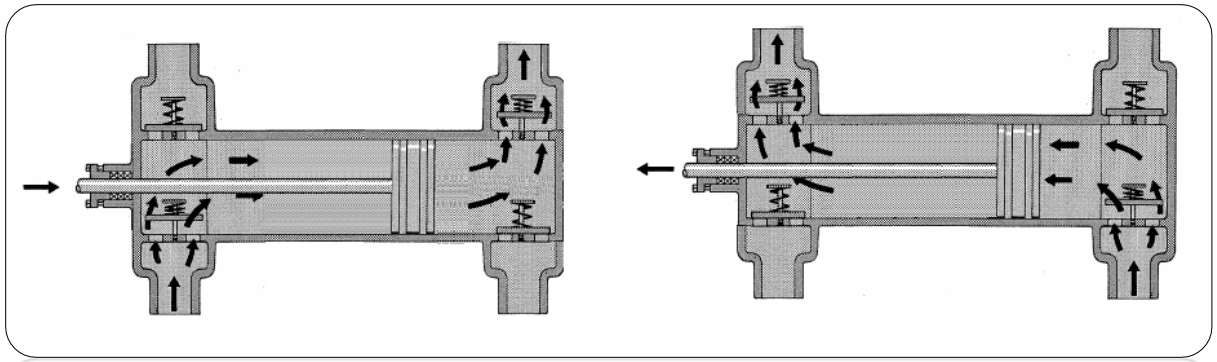
نمونه ای از پمپ رفت و برگشتی سه زمانه



سیکل عملکرد در پمپ پیستونی تک عملگره

- پمپ دو عملگره(double acting)
- در این نوع پمپ، در هر رفت و برگشت، مایع دو بار(یکبار در رفت و یکبار در برگشت) جابجا می شود.
- این نوع پمپ ها، معمولا به صورت دو زمانه(duplex) ساخته می شوند.
- در پمپ های دو زمانه، دو سیلندر به کار می رود.
- در صنعت بیشتر از پمپ های سه عملگره استفاده می شود و این نوع پمپ ها کمتر مورد استفاده قرار می گیرند.

نمونه ای از پمپ رفت و برگشتی دو زمانه



سیکل عملکرد در پمپ پیستونی دو عملگره

- همانطور که قبلا بیان شد، پمپ های سه زمانه در صنعت بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند.

دلایل عمده استفاده از پمپ های سه زمانه عبارتند از:

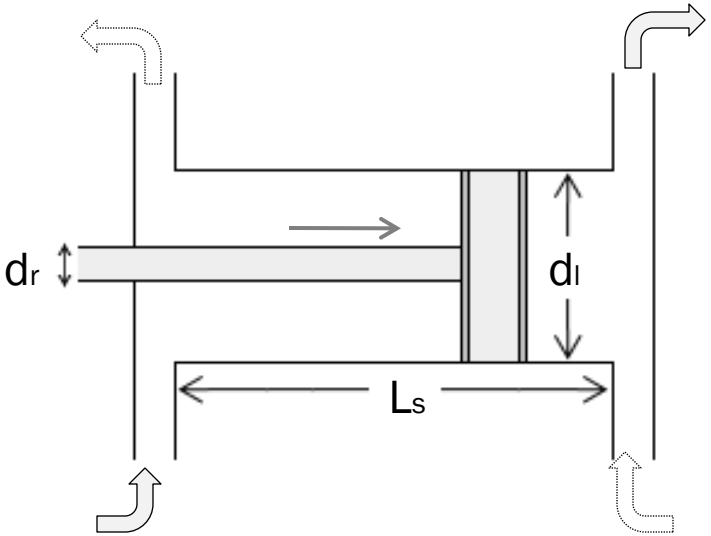
- این پمپ ها از پمپ های دوزمانه سبک ترند.
- طراحی آنها فشرده تر بوده و جای کمتری را اشغال می کنند.
- فشار ضربان(pulsation pressure) در این نوع پمپ ها کمتر است.
- هزینه راه اندازی آن ها کمتر است.

- بازده در پمپ های رفت و برگشتی:
- بازده مکانیکی(E_m) : عبارتست از بازده محرک و نشتی در قسمت محور.مقدار بازده مکانیکی در پمپ های رفت و برگشتی حدود ٪۹۰ است.
- بازده حجمی(E_V) : عبارتست از بازده ای که میزان قابلیت جابجایی حجمی مایع توسط پمپ را مشخص می کند.معمولا در پمپ های رفت و برگشتی مقدار این بازده حدود ٪۱۰۰ است.
- بازده پمپ(E) : عبارتست از حاصلضرب بازده مکانیکی در بازده حجمی

$$E = E_m \times E_V$$

- فاکتور پمپ(F_P) : عبارتست از میزان حجم سیال جابجا شده در یک رفت و برگشت در پمپ.

- جهت محاسبه فاکتور پمپ در پمپ های دو زمانه به صورت زیر عمل می کنیم:



- با توجه به شکل روبرو، میزان سیال جابجا شده در حرکت رفت عبارتست از:

$$\frac{\pi}{4} d_l^2 L_s$$

- میزان سیال جابجا شده در حرکت برگشت نیز مساوی است با:

$$\frac{\pi}{4}(d_l^2 - d_r^2) L_s$$

- از آنجایی که در پمپ دو زمانه دو سیلندر به کار می رود، میزان سیال جابجا شده برابر با مجموع دو مقدار فوق ضرب در دو، ضرب در بازده حجمی است، یعنی:

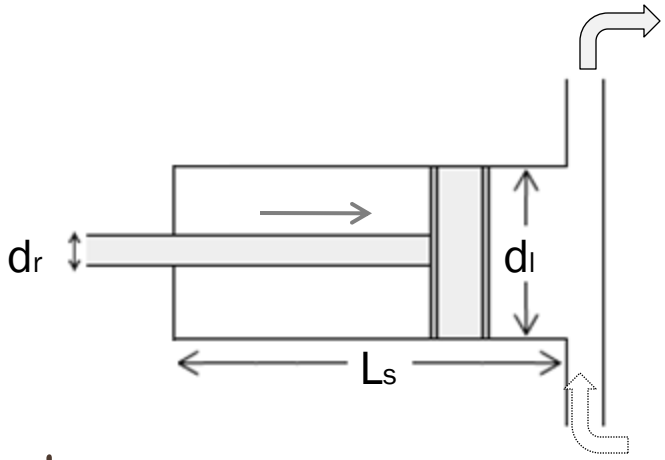
$$F_P = \frac{\pi}{2}(2d_l^2 - d_r^2) L_s E_V$$

dl:قطر خطی پیستون(liner) dr:قطر میله(rod)

Ls:طول استروک(stroke)

- استروک، که ضربه نیز نامیده می شود، طولی است که در هر حرکت پیستون طی می شود. همچنین به تعداد حرکات رفت و برگشتی پمپ نیز استروک گفته می شود.

- جهت محاسبه فاکتور پمپ در پمپ های سه زمانه نیز داریم:
- با توجه به شکل روبرو، میزان سیال جابجا شده در حرکت رفت عبارتست از:



$$\frac{\pi}{4} d_l^2 L_s$$

- در حرکت برگشت نیز سیالی جابجا نمی شود.
- از آنجایی که در پمپ سه زمانه سه سیلندر به کار می رود، میزان سیال جابجا شده برابر با سیال جابجا شده در حرکت رفت ضرب در سه، ضرب در بازده حجمی است، یعنی:

$$F_P = 3\frac{\pi}{4} d_l^2 L_s E_V$$

dl:قطر خطی پیستون(liner) dr:قطر میله(rod)

Ls:طول استروک(stroke)

- تعداد دور در واحد زمان(N) : این پارامتر در پمپ های رفت و برگشتی به صورت تعداد حرکات رفت و برگشتی در واحد زمان تعریف می شود و واحد آن (1/s) است.

- دبی پمپ(Q) : عبارتست از میزان حجم سیال جابجا شده در واحد زمان در یک رفت و برگشت در پمپ.از نظر ریاضی، دبی پمپ به صورت زیر تعریف می شود:

$$Q = F_P N$$

- بنابراین روابط دبی در پمپ های رفت و برگشتی به صورت زیر است:
  - دبی در پمپ سه زمانه

$$Q = 3\frac{\pi}{4} d_l^2 L_s E_V N$$

  - دبی در پمپ دو زمانه

$$Q = \frac{\pi}{2}(2d_l^2 - d_r^2) L_s E_V N$$

❖ **مثال**

برای یک پمپ دو زمانه با مشخصات زیر، فاکتور پمپ را بر حسب بشکه بر استروک(bbl/stroke) محاسبه کنید.

d_l=6.5 in d_r=2.5 in L_s=18 in E_V=90%

حل:

$$F_P = \frac{\pi}{2}(2d_l^2 - d_r^2)L_s E_V = \frac{\pi}{2}(2\times 6.5^2 - 2.5^2)\times 18\times 0.9 in^3/stroke$$

$$\rightarrow F_P = 1991.2 in^3/stroke = 1991.2 \frac{\cancel{in^3}}{\text{stroke}} \times (\frac{1\cancel{ft}}{12\cancel{in}})^3 \times \frac{1bbl}{5.615\cancel{ft^3}} = 0.2052 bbl/stroke$$