

# آزمایش پمپ گریز از مرکز

تهیه و تنظیم: بهنام پناهی

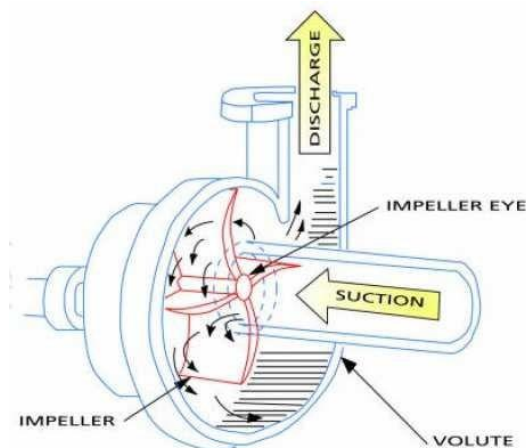
## هدف آزمایش

در این آزمایش به بررسی میزان افزایش انرژی سیال عبوری در اثر حضور پمپ با استفاده از تغییرات هد فشاری سیال در دو طرف پمپ می پردازیم. همچنین با تغییر پارامتر های تاثیرگذار همچون تعداد دور بر دقیقه پمپ و دبی سیال ورودی تاثیر این پارامترها را بر بازده پمپ بررسی می کنیم.

## مقدمه

پمپ ها یکی از متداولترین انواع توربوماشینهای مصرف کننده قدرت میباشند که در اکثر سیستمهای تاسیسات، آبرسانی، هیدرولیکی و ... به کار میروند. پمپها بسته به شرایط کارکرد و شکل ساختمان داخلی دارای انواع مختلفی میباشند که میتوان آنها را به دو گروه کلی پمپ های دورانی و پمپهای رفت و برگشتی تقسیم کرد. توربوماشین، ماشینی است که به سیال انرژی میدهد و یا از سیال انرژی میگیرد. یکی از انواع توربوماشینها پمپها هستند که انرژی مکانیکی را از منبع خارج گرفته و به سیالی که از آن عبور مینماید، انتقال میدهد. در نتیجه این عملیات انرژی سیال بعد از خروج از ماشین افزایش می یابد.

از پمپ برای انتقال سیال به یک ارتفاع معین و یا حرکت سیال در مدارهای مختلف هیدرولیکی و سیستمهای لوله کشی و به طور کلی انتقال سیال از نقطه های به نقطه دیگر استفاده میشود. یک پمپ گریز از مرکز بر اساس تبدیل انرژی جنبشی یک سیال جاری به فشار ایستا کار می کند. این نحوه عمل به وسیله قانون برنولی توصیف می شود. قاعده عملکرد پمپ گریز از مرکز را می توان با ملاحظه تاثیر تکان دادن یک سطل آب بر روی یک مسیر دایره ای شکل توسط یک طناب نشان داد. نیرویی که آب را به کف سطل فشار می دهد نیروی گریز از مرکز است. اگر یک سوراخ کوچک در کف سطل تعبیه شود آب از طریق این سوراخ جریان می یابد. از این گذشته اگر یک لوله ورودی در بالای سطل تعبیه شود، جریان آب به بیرون سوراخ منجر به تولید یک خلاموضعی در داخل سطل



خواهد شد. این خلا آب را از یک منبع در سمت دیگر لوله به داخل سطل خواهد کشید. بدین روش یک جریان پیوسته بوجود می آید.

در رابطه با پمپ های گریز از مرکز، سطل و سرپوش آن متناظر با قاب پمپ، سوراخ و لوله ورودی متناظر با ورودی و خروجی پمپ هستند و طناب و بازومتناظر کار پروانه را انجام می دهند. پمپ گریز از مرکز پمپی است که از یک پروانه گردان به منظور افزودن فشار یک سیال استفاده می نماید. پمپ های گریز از مرکز عموماً برای جابجا کردن سیال از طریق یک سیستم لوله کشی کاربرد دارد و در صنایع برای انتقال آب برای مصارف کشاورزی استفاده می شود. از پمپ های گریز از مرکز جهت انتقال آب تمیز در مصارف آبیاری، سیستمهای آبیاری بارانی، ایستگاههای تقویت فشار، تأمین آب اضطراری، زهکشی آبها، زیرزمینی، تأسیسات تصفیه آب، مصارف شستشوی صنعتی سیستمهای آتشنشانی درمعدان و آبناها بکار می رود.

#### ▪ دسته بندی پمپ های گریز از مرکز

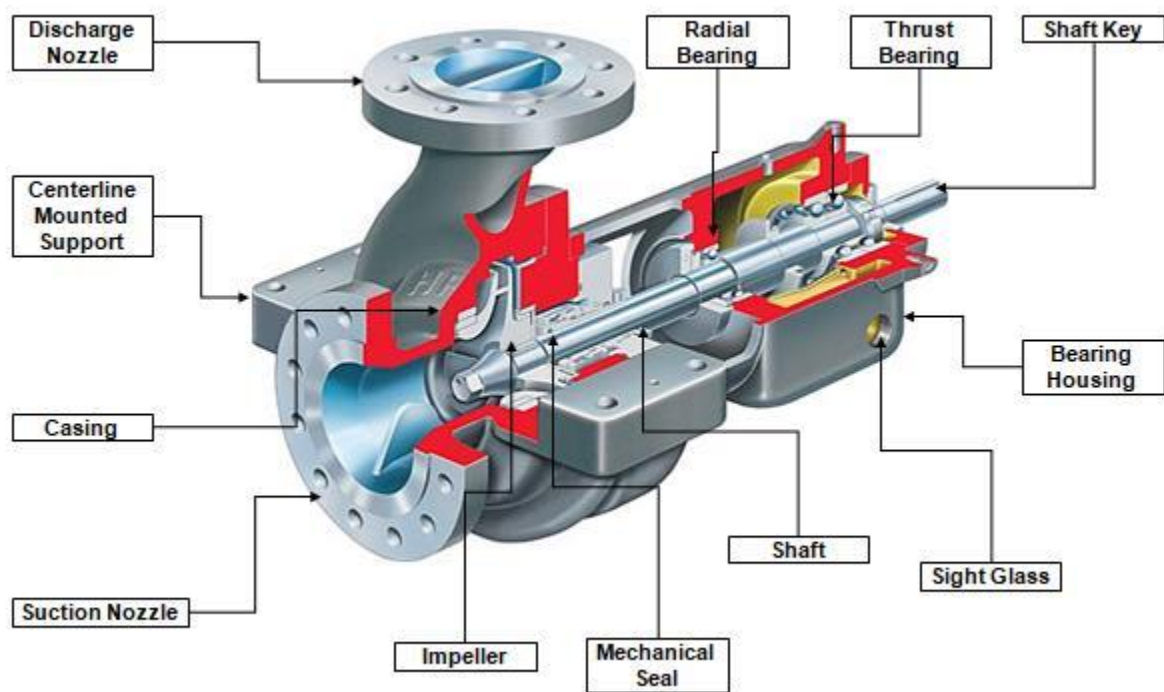
پمپ های گریز از مرکز را می توان به چند صورت دسته بندی نمود. یک شیوه دسته بندی، بر پایه جریانی است که به وجود می آورند. در این شیوه پمپ های گریز از مرکز به سه دسته تقسیم می شوند:

پمپ جریان شعاعی: در این پمپ ها فشار سیال تنها با اعمال نیروی گریز از مرکز افزایش می یابد. پمپ های این دسته، با یک سری پروانه های ورودی دارای سرعت مخصوص کمتر از ۴۲۰۰ و با دو سری پروانه های مکشی دارای سرعت مخصوص کمتر از ۶۰۰۰ هستند. در این پمپ ها سیال به طور معمول از طریق تویی وارد پروانه شده و به صورت شعاعی به محیط جریان می یابد.

پمپ جریان مختلط: در این پمپ ها فشار تا حدودی با اعمال نیروی گریز از مرکز و تا حدودی نیز با اعمال نیروی بالابری (lift) که از جانب تیغه ها اعمال می شود افزایش می یابد. این دسته از پمپ ها دارای یک سری پروانه ورودی با جریان خروجی محوری هستند و تخلیه در راستاهای محوری و شعاعی انجام می شود. پمپ های این دسته به صورت معمول دارای سرعت مخصوص مابین ۴۲۰۰ تا ۹۰۰۰ هستند.

پمپ جریان محوری: پمپ های این دسته که گاه پمپ های ملخی هم نامیده می شوند بیشترین افزایش فشار سیال را از طریق اعمال پروانه ها یا عملیات بالابری تیغه ها اعمال می کند. این گروه یک سری پروانه ورودی به همراه جریان ورودی محوری و خروجی تقریباً محوری دارند. پمپ های این گروه غالباً دارای سرعت مخصوص هایی بیش از ۹۰۰۰ هستند. در حالت کلی از پمپ های جریان محوری هنگامی که تولید دبی لازم باشد استفاده می کنند و از پمپ های جریان شعاعی به منظور افزایش فشار سود می برند.

▪ اجزای تشکیل دهنده الکتروپمپ گریز از مرکز



شکل 2. اجزای پمپ گریز از مرکز

سمت‌های اساسی یک الکتروپمپ گریز از مرکز عبارتند از:

- الکتروموتور: که شامل قسمت الکتریکی پمپ است.
- کوپلینگ یا هم محورسازی: که متصل کننده الکترومتر به شافت (محور) پمپ است.
- محفظه یاتاقان: که محل قرارگیری برینگ‌ها می‌باشد.
- مکانیکال سیل: که محل آب‌بندی پمپ و جداکننده سیال پمپاژ شده و قسمت مکانیکی پمپ است.
- پرده‌های پمپ: که با توجه به نوع کاربرد دارای انواع گوناگون هستند.

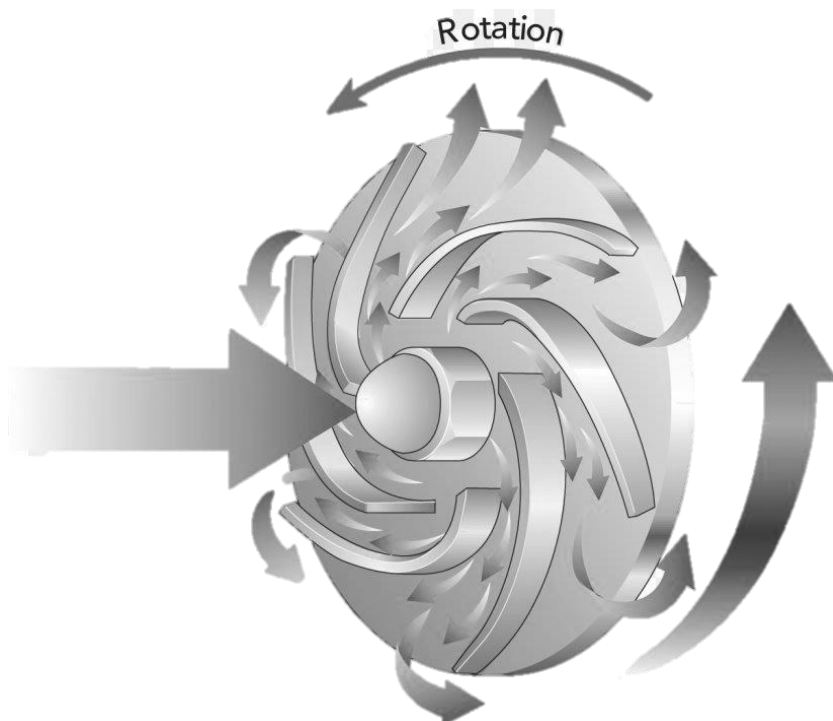
دو جزء اصلی پمپ‌های گریز از مرکز پروانه و تیغه آن و حلزونی پمپ هستند.

**پروانه:** نقش پروانه‌ها در پمپ گریز از مرکز تأمین انرژی لازم برای سیال می‌باشد. در پمپ‌ها دو نوع پروانه پایه‌ای وجود دارند: مارپیچی، توربینی

گاهی ممکن است نیاز شود برای به حرکت درآوردن پمپ صنعتی از منابع و محرک‌های قدرت که در اشکال مختلف وجود دارند به همراه یک دستگاه انتقال نیرو استفاده نمود. در سال‌های اخیر معمولاً به منظور به حرکت درآوردن پمپ‌هایی مثل پمپ گریز از مرکز، پمپ دورانی یا پمپ رفت و برگشتی از موتورهای الکتریکی استفاده می‌شود. در این میان ممکن است برای این کار از توربین‌های بخاری، توربین‌های گازی، توربین‌های هیدرولیکی، موتورهای بنزینی، موتورهای گازی و موتورهای دیزلی نیز استفاده شود. منابع دیگری نیز برای به حرکت درآوردن پمپ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که استفاده از آن‌ها محدود است. منابع دیگری نیز وجود دارند که اعتبار آن‌ها محدود است و فقط در موارد خاص و ویژه به کار برده می‌شوند؛ این منابع عبارتند از: توربین‌های انبساطی – هوایی، آسیاب‌های بادی و ...

پروانه‌های توربینی با تیغه‌های پخش‌کننده‌ای احاطه شده‌اند که مسیرهای به تدریج پهن شونده‌ای فراهم می‌آورند تا سرعت آب را به آهستگی کاهش دهند؛ بنابراین هد سرعت به هد فشار تبدیل می‌شود. پروانه مارپیچی با ویژگی نداشتن تیغه‌های پخش‌کننده مشخص می‌شوند. در عوض پروانه آن درون محفظه‌ای که حلزونی شکل است قرار گرفته و سرعت آب به دلیل ترک کردن پروانه کاهش می‌یابد که همراه با افزایش فشار می‌باشد. انتخاب بین این دو نوع پروانه بسته به شرایط استفاده تغییر می‌کند. نوع مارپیچی به دلیل ظرفیت بالا و هد مصرفی پائین در چاه‌های کم عمق معمولاً ترجیح داده می‌شوند. نوع توربینی در چاه‌های آب عمیق استفاده می‌شود.

تیغه: تیغه نقش راندن مایع به خروجی پمپ را دارد که سرعت را به فشار تبدیل می‌نماید. جزء تیغه در داخل پمپ که معمولاً به پروانه متصل است به نوبه خود دارای شکل‌های گوناگونی است. دسته‌بندی شکلی تیغه‌ها را می‌توان به‌طور کلی به دو دسته تقسیم نمود: صاف، مارپیچ (که این دسته‌بندی نیز می‌تواند منجر به دسته‌بندی کلی در مورد پروانه‌ها گردد).



### مزایا و معایب پمپ گریز از مرکز

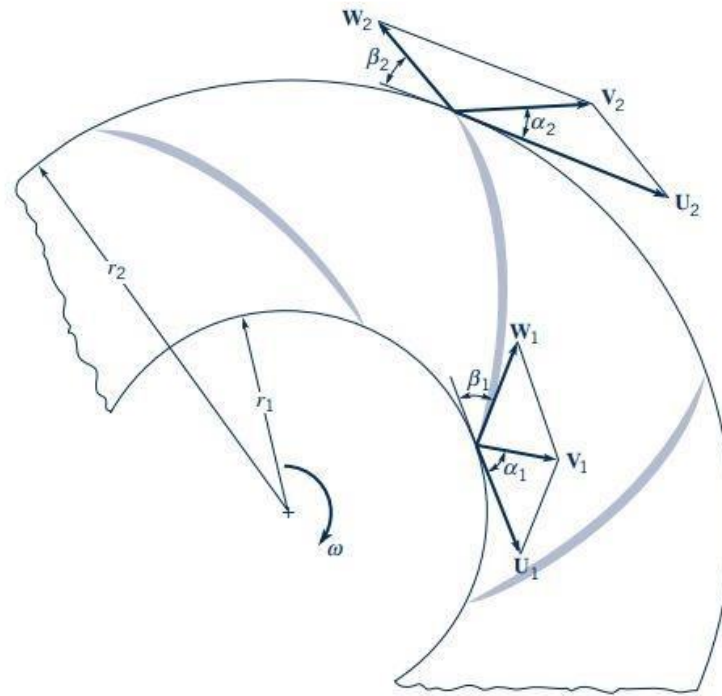
از مزایای پمپ گریز از مرکز می‌توان به ویژگی تولید یک جریان هموار و یکنواخت اشاره نمود. برخی انواع پمپ‌های گریز از مرکز مقداری شن نیز پمپ می‌کنند و در کل مطمئن و دارای عمر کاری خوبی می‌باشند.

از معایب این پمپ‌های می‌توان به از دست دادن سطح کیفی راه اندازی اشاره نمود که بعد از راه اندازی رخ می‌دهد. همچنین راندمان این پمپ‌ها وابسته به کار تحت هد و سرعت طراحی می‌باشد. در راه اندازی یک پمپ گریز از مرکز از آنجایی که این پمپ‌ها از مکش استفاده می‌کنند قابلیت پمپ کردن هوا را ندارند. پس به عنوان یک نتیجه پمپ و لوله بایستی از آب پر باشند تا مشکلی در پمپ آب بروز نکند.

### تئوری آزمایش

## ▪ روابط حاکم

جریان در پمپ‌های گریز از مرکز واقعی، بسیار پیچیده و به صورت سه‌بعدی و ناپایا است ولی تئوری پایه که روابط حاکم بر این پمپ‌ها را بیان میکند، برای ساده‌سازی، جریان میانگین را به صورت یک‌بعدی در نظر می‌گیرد. شکل ۱ به صورت ساده، سرعت‌ها در ورودی و خروجی یک پمپ گریز از مرکز را به تصویر کشیده است.



شکل 4

در این شکل،  $V_1$  سرعت مطلق سیال در ورودی را نشان میدهد و پره با سرعت زاویه‌ای  $\omega$  در حال چرخش است. سرعت مطلق سیال را میتوان به صورت جمع برداری سرعت پره  $U_1$  و سرعت نسبی سیال  $W_1$  به شکل زیر بیان کرد.

$$V_1 = W_1 + U_1 \quad \text{معادله 1}$$

$$V_2 = W_2 + U_2 \quad \text{معادله 2}$$

در این روابط سرعت پره در ورودی و خروجی با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$U_1 = r_1 w \quad \text{معادله 3}$$

$$U_2 = r_2 w \quad \text{معادله 4}$$

موازنه اندازه حرکت زاویه ای برای برای حجم کنترلی که سیال در مقطع ۱ به آن وارد و از مقطع ۲ خارج می شود داریم

$$T_{shaft} = \dot{m} (r_2 V_{\theta_2} - r_1 V_{\theta_1}) \quad \text{معادله 5}$$

$$T_{shaft} = \rho Q (r_2 V_{\theta_2} - r_1 V_{\theta_1}) \quad \text{معادله 6}$$

$V_{\theta 2}$  و  $V_{\theta 1}$  به ترتیب تر مهای مماسی سرعت مطلق سیال در ورودی و خروجی هستند. توان یک شفت دوار نیز با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$W_{shaft} = T_{shaft} w \quad \text{معادله 7}$$

با جایگذاری معادلات ... در .... خواهیم داشت:

$$W_{shaft} = \rho Q (U_2 V_{\theta_2} - U_1 V_{\theta_1}) \quad \text{معادله 8}$$

در صورتی که این رابطه را برای واحد جریان جرمی سیال بنویسیم عبارت زیر به دست می آید

$$\dot{W}_{shaft} = U_2 V_{\theta_2} - U_1 V_{\theta_1} \quad \text{معادله 9}$$

از طرفی هدی که پمپ به سیال می دهد، پارامتر بسیار مهمی است. افزایش هد بیشینه با ایده آل  $h_i$  را از رابطه زیر می توان بدست آورد:

$$W_{shaft} = \rho g Q h_i \quad \text{معادله ۱۰}$$

با تلفیق معادله توان پمپ و معادله انرژی برنولی برای سیال تراکم ناپذیر و پایا می توان رابطه زیر را به دست آورد:

$$\dot{W}_{shaft} = U_2 V_{\theta_2} - U_1 V_{\theta_1} = \left( \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + g Z_2 \right) - \left( \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g Z_1 \right) + loss \quad \text{معادله ۱۱}$$

در صورتی که هر دو سمت معادله بالا را تقسیم بر شتاب گرانش کنیم، ترم سمت راست بر حسب هد کلی ورودی ( $H_{in}$ )، خروجی ( $H_{out}$ ) و افت هد (Head Loss) بیان میشود. با صرف نظر کردن از افت هد خواهیم داشت:

$$\frac{U_2 V_{\theta_2} - U_1 V_{\theta_1}}{g} = H_{out} - H_{in} \quad \text{معادله ۱۲}$$

ترم سمت چپ معادله ۱۱، هد کار شفت را نشان میدهد که توسط پمپ به هد سیال اضافه میشود. این عبارت را میتوان به شکل زیر نمایش داد:

$$h_i = \frac{U_2 V_{\theta_2} - U_1 V_{\theta_1}}{g} \quad \text{معادله ۱۳}$$

رابطه مناسبی بین آهنگ جریان و افزایش هدد ایده آل پمپ به صورت زیر می توان بدست آورد. معمولاً سیال در هنگام ورود به پروانه، مولفه سرعت مماسی  $V_{\theta 1}$  یا چرخش ندارد، یعنی زاویه بین سرعت مطلق و جهت مماسی برابر ۹۰ درجه است. در این حالت داریم:



$$h_i = \frac{U_2 V_{\theta_2}}{g} \quad \text{معادله ۱۴}$$

$$\cot \beta_2 = \frac{U_2 - V_{\theta_2}}{V_{r_2}} \quad \text{معادله ۱۵}$$

$$h_i = \frac{U^2}{2g} - \frac{U_2 V_{r_2} \cot \beta_2}{g} \quad \text{معادله ۱۶}$$

$$Q = 2\pi r_2 b_2 v_{r_2} \quad \text{معادله ۱۷}$$

پس از بازنویسی این معادله با استفاده از مثلث سرعت ، هد ایده آل پمپ به صورت زیر نوشته می شود

$$h_i = \frac{U^2}{2g} - \frac{U_2 \cot \beta_2}{2\pi r_2 b_2 g} Q \quad \text{معادله ۱۸}$$

با دانستن دانسیته سیال و مقادیر هد پمپ و دبی جریان که در آزمایش اندازه گیری میشود، توان خروجی از پمپ را میتوان از رابطه زیر به دست آورد:

$$P_{out} = \rho g Q H_p \quad \text{معادله ۱۹}$$

توان ورودی با استفاده از مشخصه موتور پمپ حساب می شود. اگر  $I$  جریان و  $V$  ولتاژ باشد:

$$P_{in} = IV \quad \text{معادله ۲۰}$$

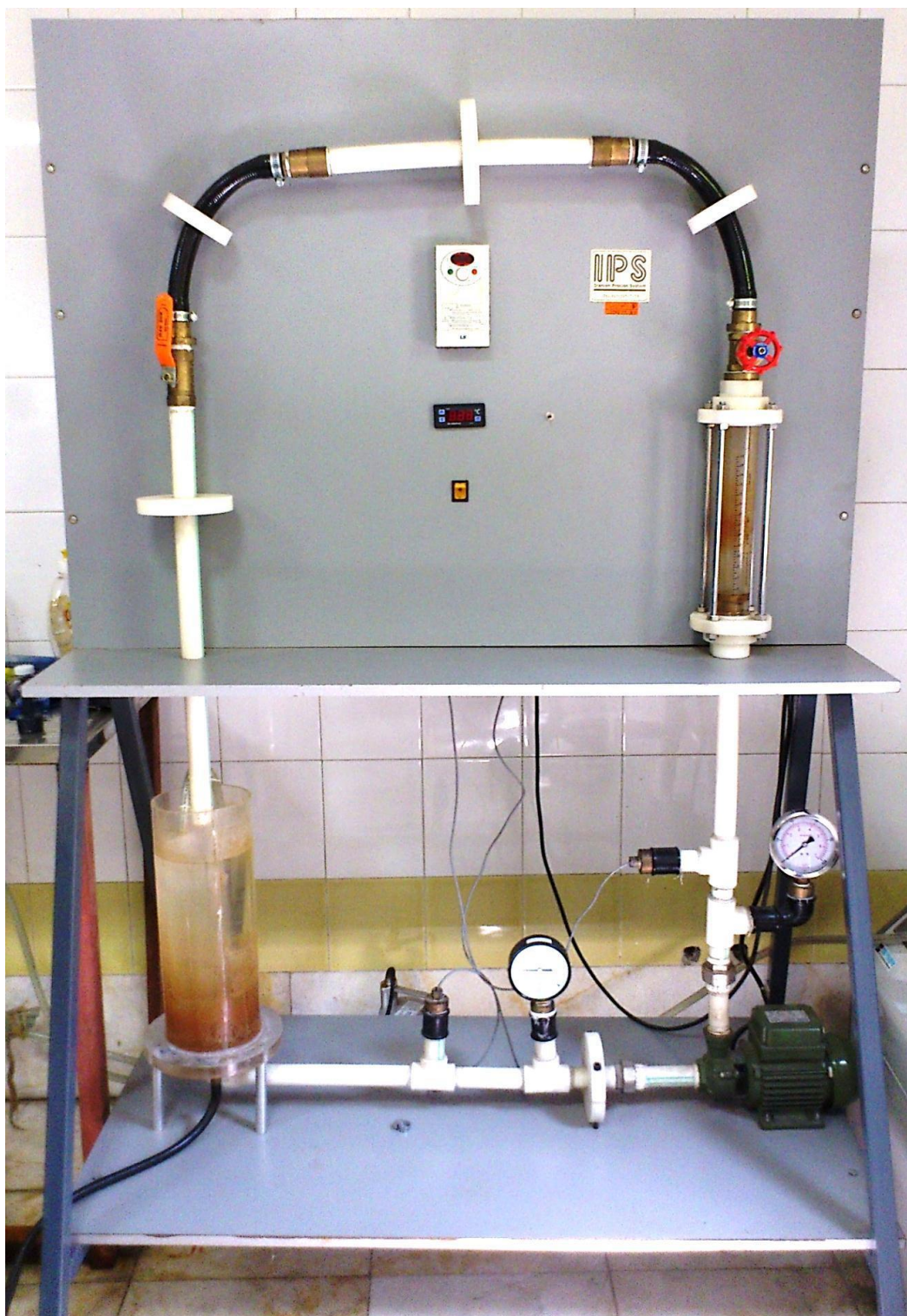
و بازده پمپ:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad \text{معادله ۲۱}$$

همچنین رابطه هد واقعی پمپ با استفاده از اختلاف فشار بین ورودی و خروجی پمپ و صرف نظر از اختلاف ارتفاع و اختلاف سرعت ورودی و خروجی به صورت زیر در آزمایشگاه برای هر پمپ محاسبه می شود.

$$H_p = \frac{\Delta P}{\rho g} \quad \text{معادله ۲۱}$$

شکل دستگاه:



شکل ۵. شمای کلی دستگاه

## شرح دستگاه

دستگاه شامل یک مخزن آب می باشد که توسط پمپ آب از مخزن کشیده شده و بعد از عبور از دو فشارسنج قبل و بعد از پمپ جهت اندازه گیری فشار از یک روتامتر عبور می کند تا دبی سیال اندازه گیری شود و سپس به مخزن باز می گردد. دو ترموکوپل دمای سیال را قبل و بعد از پمپ اندازه گیری نموده که روی صفحه دستگاه قابل رویت است. یک انیورتور نیز جهت تنظیم دور موتور و خواندن توان مصرفی روی صفحه اصلی دستگاه قرار دارد.

## روش انجام آزمایش

توسط انیورتور دور مورد نظر و سپس با شیر بالای روتامتر دبی موردنظر را تنظیم کرده و در هر حالت فشار ورودی ، فشار خروجی، دمای ورودی و دمای خروجی را یادداشت می کنیم. سپس توان انیورتور داده شده به پمپ را یادداشت می کنیم.

## خواسته ها

۱- منحنی های مشخصه پمپ را که شامل توان ورودی ، توان خروجی ، راندمان و هد پمپ است را بر حسب دبی و برای هر دور روی یک صفحه ترسیم نمایید.

۲- منحنی های ترسیم شده را با یکدیگر مقایسه و بحث نمایید.

۳- رابطه هد واقعی پمپ را اثبات نمایید.  $H_p = (\frac{\gamma_{Hg}}{\gamma_{water}} - 1)\Delta h$

۴- رابطه (۹) را با بیان توضیحات کامل اثبات نمایید