

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی  
دانشکده مهندسی مکانیک  
آزمایشگاه مکانیک سیالات



تهیه و تنظیم:  
عبدالله شادآرام

زمستان ۱۳۸۶

## مقررات و نحوه ارزشیابی نمره نهایی در آزمایشگاه مکانیک سیالات

به منظور ایجاد نظم و ترتیب جهت بهبود وضعیت آموزش و رعایت حق در ارزشیابی نهایی دانشجویان در درس آزمایشگاه مکانیک سیالات مقرراتی به شرح زیر اجرا می‌گیرد. لازم است که دانشجویان در ابتدای شروع نیمسال تحصیلی به مقررات ذیل توجه نموده تا به نحوه ارزشیابی خود در پایان نیمسال آشنا شوند.

۱- درس آزمایشگاه مکانیک سیالات طبق برنامه اداره آموزش دانشکده راس ساعت شروع شده و بعد از حدود دو ساعت خاتمه می‌یابد.

۲- در ابتدای شروع اولین کلاس دانشجویان به انتخاب خود به گروه‌های دو یا سه نفره تقسیم شده و در تمام مدت نیمسال با هم آزمایش تعیین شده را انجام می‌دهند. توصیه می‌شود دانشجویانی که با هم ارتباط و آشنایی بیشتری دارند یک گروه دو یا سه نفره تشکیل دهند.

۳- هر گروه به انتخاب خود می‌تواند گزارش را به صورت گروهی یا انفرادی تهیه نماید. واضح است که در صورت گروهی بودن گزارش نمره آن متعلق به تمام افراد گروه خواهد بود و در صورت انفرادی نمره گزارش فقط برای تهیه کننده گزارش محسوب خواهد شد.

۴- دانشجویی که به صورت انفرادی گزارش تهیه می‌کند می‌بایست به تعداد نصف یا ثلث تعداد کل آزمایشات، گزارش کامل و بقیه را به صورت مختصر در هفته بعد از انجام آزمایش تحویل دهد.

۵- دانشجویان در مقابل تحویل گزارش به کارکنان آزمایشگاه می‌بایست به تایید مسولین آزمایشگاه برسانند..

۶- هر گروه موظف است که از عنوان آزمایش هفته بعد خود مطلع شده و قبل از حضور در آزمایشگاه مطالب تئوری و عملی مربوط به آن آزمایش را کاملاً مطالعه کند.

۷- غیبت غیر موجه هر دانشجو به منزله نمره صفر برای او در آن آزمایش محسوب می‌شود.

۸- هر دانشجو می‌تواند حداکثر یک غیبت موجه (طبق آیین نامه آموزشی) در طول نیمسال داشته باشد. ضمناً دانشجویی که یک جلسه غیبت موجه داشته باشد می‌بایست به تنهایی آن آزمایش را انجام داده و به تنهایی گزارش آن را تهیه کند.

۹- تاخیر حضور در آزمایشگاه بیش از نیم ساعت به منزله غیبت محسوب می‌شود.

۱۰- برای حضور مرتب یک دانشجو در آزمایشگاه و تحویل صحیح دستگاه مورد آزمایش ۱۰ نمره منظور می‌شود. بدیهی است تاخیر حضور دانشجو (کمتر از نیم ساعت) و یا ترک گروه هنگام آزمایش کمتر از نیم ساعت باعث از دست دادن ۱۰ نمره فوق خواهد بود.

۱۱- در پایان نیمسال از دانشجویان به صورت انفرادی امتحانی به صورت کتبی یا کتبی-شفاهی به عمل خواهد آمد. امتیاز امتحان حداکثر ۴۰ نمره خواهد بود.

۱۲- تقسیم بندی نمره نهایی دانشجو بر مبنای ۵۰ نمره آزمایش و گزارش نویسی ، ۱۰ نمره حضور در کلاس به صورت مرتب و ۴۰ نمره امتحان پایان نیمسال خواهد بود.

### نحوه گزارش نویسی برای هر آزمایش

به هر گزارش ۵۰ نمره تعلق می گیرد که به صورت زیر تقسیم بندی شده است :

۱- مرتب بودن گزارش ۵ نمره: گزارش باید در کاغذهای یکسان نوشته شود و روی جلد آن مشخصات لازم از قبیل نام آزمایش، اسامی افراد گروه، تاریخ انجام و تحویل گزارش، و جدول نمره بندی مطابق نمونه بصورت کامل نوشته شود. گزارش خط خوردگی نداشته باشد. بمنظور مقایسه با نتایج استاندارد، نمودارها با مداد در مقیاسهای داده شده در دستورالعمل آزمایشگاه رسم شود. صفحه بندی و فهرست داشته باشد. کلیه صفحات کاملاً از طرف راست دوخته شوند.

۲- هدف و شرح گزارش ۵ نمره: مطالب تئوری هر گزارش می بایست حداکثر دو صفحه باشد که این مطالب خود شامل هدف آزمایش و روابط تئوری لازم جهت محاسبات می باشد. توضیح در مورد روابط به کار رفته در محاسبات و شرح پارامترها در روابط کاربردی به اختصار نوشته شود. شرح دستگاه ، روش آزمایش و اثبات فرمولها که در دستورالعمل آزمایشگاه آمده لازم نیست در گزارش نوشته شود.

۳- جداول گزارش ۱۵ نمره: جداول به صورت کامل پر و محاسبه شده و برای هر جدول یک نمونه از محاسبات نوشته شود. جداول با مداد تنظیم شوند.

۴- رسم منحنی ها و پاسخ به سوالات و نتیجه گیری ۱۵ نمره: منحنی ها توسط شابلون با مداد رسم شوند. به سوالات طرح شده در دستورالعمل با مطالعه کامل پاسخ داده شود.

۵- تحویل گزارش به موقع ۱۰ نمره: هر گزارش می بایست یک هفته بعد از آزمایش تحویل داده شود. در صورت تحویل به موقع ۱۰ نمره مربوط به این قسمت داده می شود. در صورت تاخیر به ازای هر هفته ۳ نمره از ۱۰ نمره این قسمت کاسته می شود.

$$۵۰ = ۱۰ + ۱۵ + ۱۵ + ۵ + ۵ = \text{جمع نمرات}$$

در پایان مجموع نمرات اخذ شده تقسیم بر تعداد کل گزارشات نمره گزارشات آزمایشگاه هر دانشجو خواهد بود.

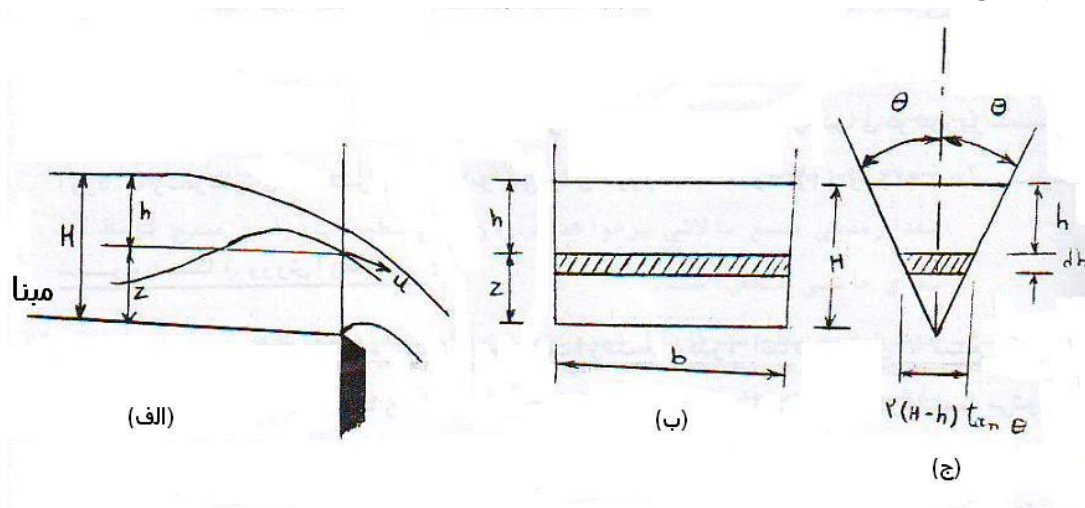
## سرریز

### هدف آزمایش :

هدف از این آزمایش بررسی میزان گذر آب از سرریزهایی با طرحهای هندسی متفاوت و پیدا نمودن رابطه تجربی بین گذر جریان ( $Q$ ) و ارتفاع آب از لبه سرریز می باشد. همچنین با کالیبره (مدرج) نمودن سرریز می توان ضریب تخلیه چند نوع سرریز را تعیین نموده و تغییرات آن را با نوع سرریز، گذر و ارتفاع آب بررسی نمود.

### تئوری آزمایش :

سرریزها که معمولا به اشکال هندسی منظم از قبیل مستطیلی ، مثلثی و غیره ساخته می شوند در مسیر رودخانه ها و کانالهای روباز قرار داده شده و برای اندازه گیری نرخ گذر حجمی جریان ( $Q$ ) در کانال به کار می روند. با نوشتن رابطه برنولی بین نقطه ای دور از لبه سرریز (که بتوان سرعت آب را در آن نقطه ناچیز انگاشت) و نقطه ای روی لبه سرریز می توان سرعت آب را بر حسب ارتفاع  $h$  حساب نمود. سپس با داشتن این مقدار سرعت و سطح المانی از مقطع جریان می توان گذر حجمی از المان و در نتیجه از تمام مقطع جریان را معین کرد.



شکل (۱): جریان آب از روی سرریز مثلثی با دو ساق متقارن و مستطیلی شکل

بعد از محاسبات ، گذر حجمی تئوری جریان از روی سرریز مستطیلی و مثلثی به ترتیب به صورت زیر خلاصه می شوند.

$$Q_t = \frac{2}{3} \sqrt{2gb} H^{3/2} \quad (۱) \quad \text{مستطیلی}$$

$$Q_t = \frac{8}{15} \sqrt{2g \tan \theta} H^{5/2} \quad (۲) \quad \text{مثلثی}$$

باید دانست که در عمل به علت انقباض سطح مقطع آب خروجی از سرریز و عوامل دیگر مقدار تجربی گذر جریان کمتر از مقدار تئوری آن می باشد ، لذا در عمل رابطه گذر حجمی و ارتفاع به صورت روابط شماره (۳) و (۴) مورد استفاده قرار می گیرد.

$$Q_e = \frac{2}{3} C \sqrt{2g} b H^{3/2} \quad (۳) \quad \text{مستطیلی}$$

$$Q_e = \frac{8}{15} C \sqrt{2g} \tan \theta H^{5/2} \quad (۴) \quad \text{مثلثی}$$

که در آن  $C$  ضریب تخلیه سرریز نامیده می شود. به طور کلی در وسایل اندازه گیری تجربی گذر حجمی توسط سرریزها ی معین رابطه تغییرات گذر بر حسب ارتفاع را به صورت رابطه شماره (۵) نشان می دهند.

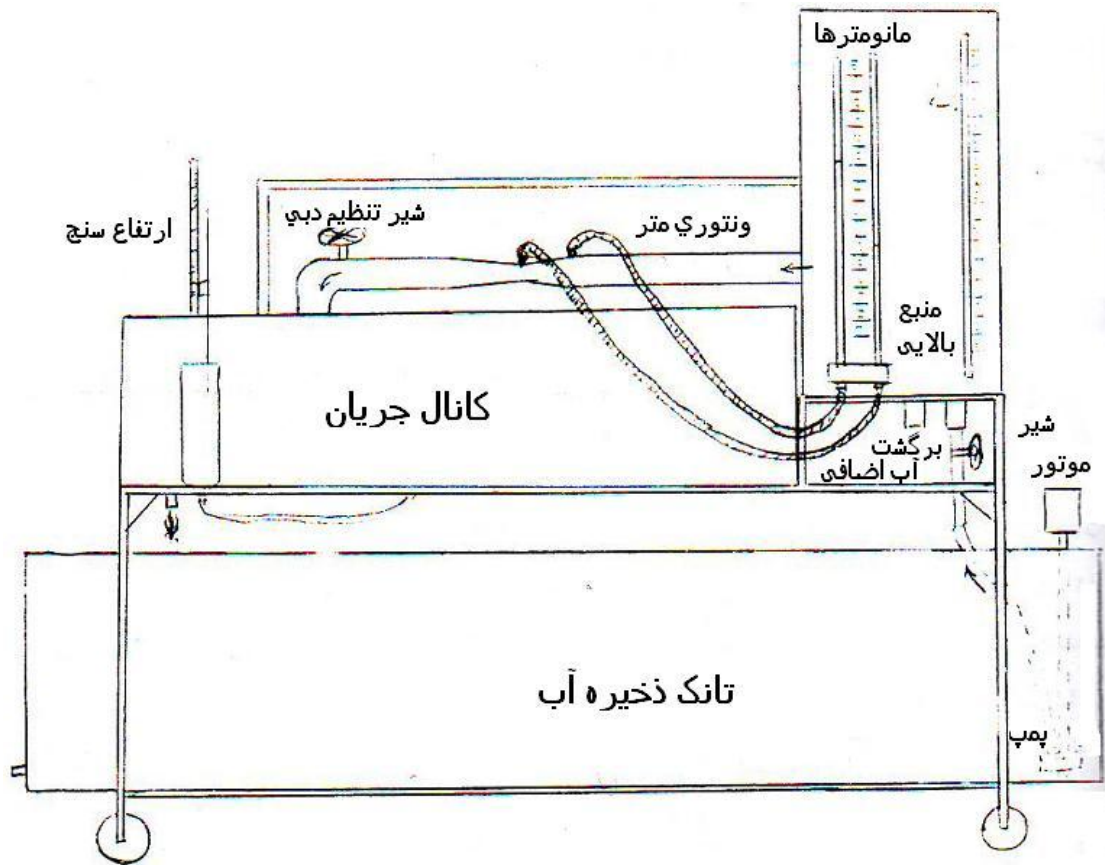
$$Q_e = KH^n \quad (۵)$$

که در آن  $K$  و  $n$  در محدوده عمل مقدار تقریباً ثابتی را دارا می باشند. به کمک رسم نمودار  $\log Q_e$  بر حسب  $\log H$  می توان مقادیر  $K$  و  $n$  تجربی را برای هر سرریز به دست آورد. از نظر تئوری مقادیر  $K$  و  $n$  را می توان با مقایسه از روابط شماره (۱) و (۲) تعیین نمود.

### شرح دستگاه و روش آزمایش :

قسمتهای اصلی دستگاه تشکیل شده است از منبع ذخیره آب در پایین ، منبع بالایی جهت تامین آب عبوری با فشار ثابت و کانالی روباز که در مسیر آن انواع سرریزها نصب می شوند. آب توسط پمپی از منبع ذخیره به منبع بالایی منتقل شده و در داخل آن در ارتفاع ثابتی قرار می گیرد. آب اضافی پمپ شده توسط یک لوله برگشت به منبع ذخیره بر می گردد. آب از قسمت پایین منبع فوقانی خارج شده و بعد از عبور از ونتوری متر که در این آزمایش خود بعنوان وسیله اندازه گیری گذر جریان مورد استفاده قرار می گیرد به داخل کانال ریخته می شود. در انتهای کانال سرریز مورد آزمایش نصب شده است. آب بعد از عبور از روی سرریز مجدداً به منبع ذخیره بر می گردد.

ابتدا سطح آب در کانال را تا لبه سرریز تنظیم نموده و با تنظیم شاخص با سطح آب در آبنا ی مقابل کانال بعنوان ارتفاع مرجع می توان ارتفاع آب از لبه سرریز در کانال را با تقریب دهم میلیمتر هنگام آزمایش قرائت نمود. آبنا از قسمت زیرین به کف کانال متصل بوده و طبق قانون ظروف مرتب سطح آب در آن منطبق با سطح آب در کانال است.



شکل (۲): شمای دستگاه آزمایش سرریز

قبل از شروع کار دستگاه آماده آزمایش است. برای شروع بهتر است که مراحل زیر را به ترتیب انجام داد.

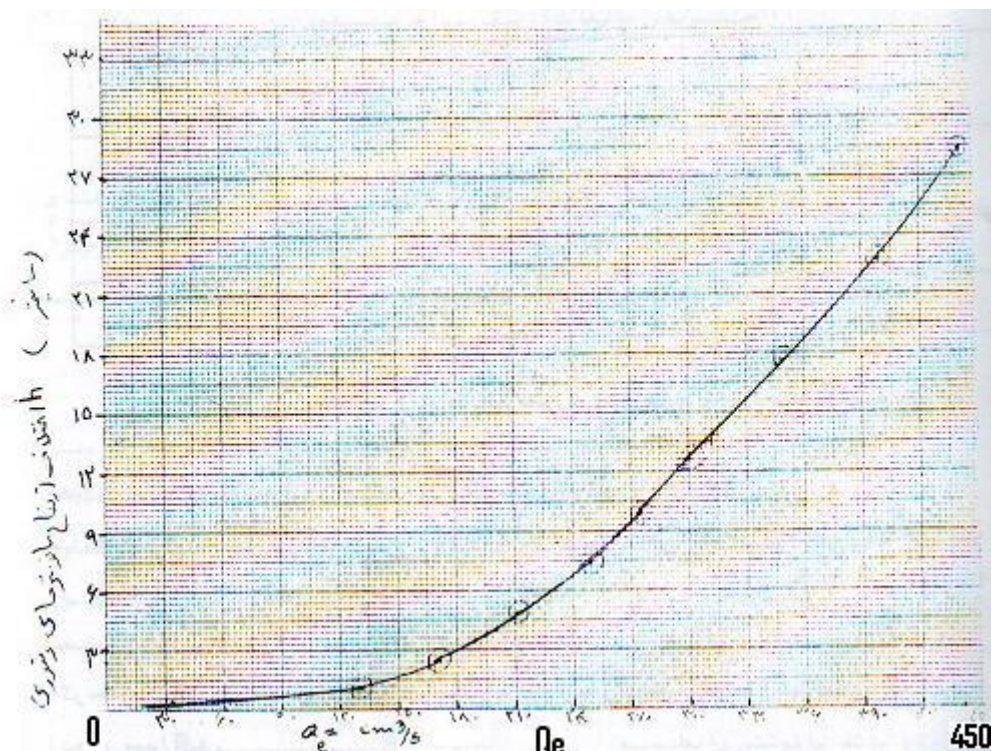
- ۱- پمپ را روشن کنید.
- ۲- شیر خروجی پمپ را که در زیر منبع بالایی نصب شده است به طور کامل باز کنید. بعد از مدتی منبع بالایی پر خواهد شد. ارتفاع سطح آب در این منبع توسط آب نمای جانبی این منبع مشخص است.
- ۳- جهت تنظیم سطح صفر کانال شیر ونتوری را کمی باز می نماییم تا آب به لبه پایینی سرریز برسد و سپس می بندیم. در این حال نوک سوزن شاخص در آب نمای ارتفاع سنج می بایست با سطح آب در استوانه شیشه ای منطبق شده و صفر ورنیه تنظیم گردد.
- ۴- شیر ونتوری را مجدداً باز می کنیم تا اختلاف ارتفاعی حدوداً ۳۰ الی ۳۵ سانتیمتر بین مانومترها ورودی و گلوگاه ونتوری متر ایجاد گردد. سپس ارتفاع مانومترها و ارتفاع آب در کانال از لبه سرریز را اندازه گرفته در جدول شماره ۱ یادداشت می کنیم.
- ۵- شیر ونتوری متر را کمی می بندیم تا اختلاف مانومترهای آن حدود ۳ الی ۴ سانتیمتر کم گردد و مجدداً ارتفاع مانومترها و ارتفاع سطح آب در کانال را اندازه گیری نموده و در جدول فوق یادداشت می نماییم. این عمل را برای ۸ الی ۱۰ نقطه انجام می دهیم. برای قرائت ارتفاع آب توسط شاخص بقدری صبر کنید تا ثابت بماند.

۶- در پایان به ترتیب شیر ونتوری و شیر خروجی پمپ را می بندیم. سپس پمپ را خاموش نموده و با وسایل لازم سرریز را عوض نموده و آزمایش فوق را برای سرریز جدید انجام می دهیم.

### نتایج محاسبات :

برای هر سرریز مورد آزمایش جدولی مشابه جدول شماره ۱ تنظیم نماییم. برای تشخیص گذر حجمی تجربی ( $Q_e$ ) با تعیین اختلاف ارتفاع مانومترها از منحنی کالیبراسیون ونتوری استفاده می نماییم. برای تعیین گذر حجمی تئوری ( $Q_t$ ) از روابط شماره (۱) و (۲) استفاده می شود. به کمک روابط شماره (۳) و (۴) ضرایب تخلیه ( $C$ ) قابل محاسبه هستند. مقادیر گذر تجربی ( $Q_e$ ) را بر حسب ارتفاع آب از لبه سرریز ( $H$ ) روی یک محورهای مختصات رسم نماییم.

مقادیر  $\log Q_e$  را بر حسب  $\log H$  روی یک محورهای مختصات برای هر سرریز رسم نموده و به کمک آن مقادیر  $K$  و  $n$  را بدست آورید. شیب چنین تغییراتی برابر با  $n$  و قطع آن با محور  $\log Q_t$  برابر  $\log K$  می باشد. مقادیر  $K$  و  $n$  به دست آمده از نمودار را با مقادیر بدست آمده از تئوری در جدول شماره ۲ یادداشت نماییم. تغییرات دبی ( $Q_e$ ) بر حسب ضریب تخلیه ( $C$ ) را بررسی کرده و رسم نماییم. دقت کنید که در سرریز مستطیلی مقدار پهنا ( $b$ ) برابر با  $7/5$  سانتیمتر و در سرریزهای مثلثی مقادیر  $\theta$  به ترتیب  $30^\circ$ ،  $45^\circ$ ،  $60^\circ$  و  $90^\circ$  درجه می باشند.



شکل (۳): منحنی کالیبراسیون ونتوری متر

جدول (۱): مقادیر گذرحجمی و ارتفاع برای سرریز

قرائت مانومترهای ونتوری <i>mm</i>			$Q_e$ $cm^3/s$	$H$ $cm$	$\log Q_e$	$\log H$	$Q_t$ $cm^3/s$	$C$
$h_1$	$h_2$	$h = h_1 - h_2$						

جدول (۲): مقادیر تئوری و تجربی  $K$  و  $n$  جهت مقایسه

سرریز مثلثی				سرریز مستطیلی			
تئوری		تجربی		تئوری		تجربی	
$n$	$K$	$n$	$K$	$n$	$K$	$n$	$K$

بعد از تکمیل جداول فوق و رسم نمودارها به سوالات زیر پاسخ دهید.  
 آیا نقاط  $\log H$  و  $\log Q_e$  روی یک خط مستقیم قرار دارند؟ اگر جواب منفی است علت آن چه می باشد.

تغییرات ضریب تخلیه ( $C$ ) با دبی چگونه است.  
 اگر تعدادی سرریز مستطیلی با پهنای متفاوت یا سرریز مثلثی با زوایای متفاوت در اختیار داشتید به کمک آنها چه آزمایشی انجام می دادید.  
 به کمک مقدار تجربی  $K$  برای هر سرریز مقدار  $C$  متوسط آن سرریز را به دست آورید.

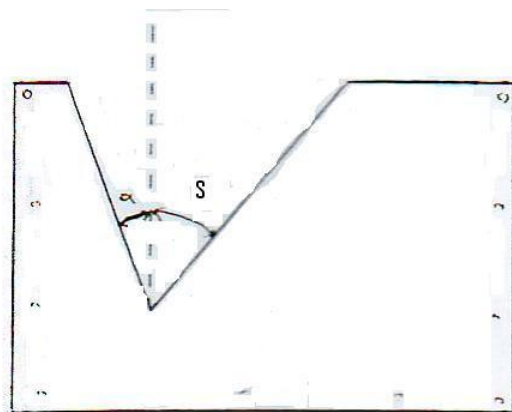


اگر در سرریز مستطیلی پهنای کانال  $L_c = 22.5\text{cm}$  و پهنای سرریز  $b = L_w = 7.5\text{cm}$  و فاصله لبه زیرین سرریز تا کف کانال  $p = 28\text{cm}$  باشد، با توجه به نسبت  $L_w/L_c$  و  $h/p$  مقدار  $C_d$  را از نمودارهای موجود در کتاب درسی بدست آورده و با نتایج خود مقایسه کنید.

روابط (۱) و (۲) را بدست آورید.

رابطه ای جهت محاسبه دبی بر حسب ارتفاع از لبه سرریز برای سرریز مثلثی غیر متقارن شکل زیر بدست آورید.

اگر در قرائت ارتفاع آب از لبه سرریز مثلثی خطایی را مرتکب شویم، این خطا در تعیین گذر جریان چه تاثیری دارد.



شکل (۴): سرریز مثلثی غیرمتقارن

## جریان مایعات از یک سوراخ مدور ( اوریفیس )

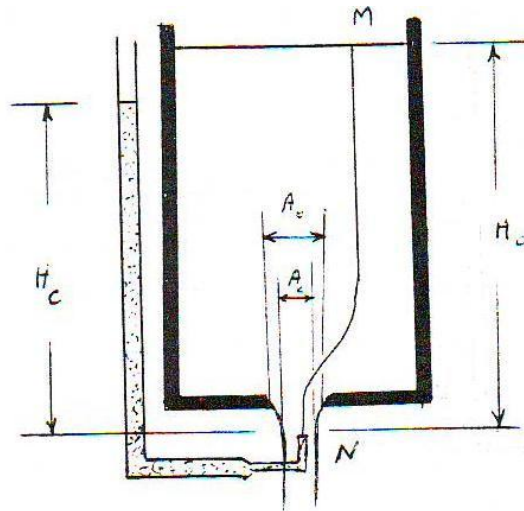
### هدف آزمایش :

هدف از این آزمایش مشاهده چگونگی تخلیه مایعات از یک سوراخ مدور با قطرهای گوناگون و تعیین ضرایب تخلیه ، سرعت و سطح آن جریان در ارتفاع معین و رابطه بین آن ضرایب می باشد. همچنین زمان لازم برای تخلیه طبیعی یک مخزن از یک سوراخ با زمان تئوریک آن بر حسب ارتفاعات مختلف مایع در مخزن مقایسه می شود.

### تئوری آزمایش :

وقتی سیالی از میان یک دهانه لبه تیز عبور می کند دبی واقعی آن کمتر از دبی بدست آمده از روابط تئوری می باشد و این اختلاف نه تنها به واسطه افت انرژی بلکه بیشتر به خاطر انقباض سطح مقطع جریان می باشد. به کمترین مقطع جریان ، مقطع فشرده یا *Vena contracta* می گویند. در شکل (۱) اساس عبور جریان یک مخزن از یک سوراخ نشان داده شده است. اگر  $H_C$  ارتفاع آب مخزن از مقطع فشرده باشد با نوشتن رابطه برنولی بین دو نقطه در سطح آزاد و مقطع فشرده می توان سرعت ایده آل خروجی آب را از رابطه (۱) بدست آورد :

$$V_0 = \sqrt{2gH_0} \quad (1)$$



شکل (۱): عبور آب از یک سوراخ مدور

اگر به کمک لوله پیتوت هد کلی جریان در مقطع فشرده بمیزان  $H_C$  باشد در این صورت سرعت واقعی خروجی آب از رابطه (۲) بدست می آید :

$$V_C = \sqrt{2gH_C} \quad (2)$$

طبق تعریف نسبت سرعت واقعی به سرعت ایده آل را ضریب سرعت نامیده و با  $C_V$  نشان می دهند.

$$C_v = \frac{V_c}{V_0} = \sqrt{\frac{H_c}{H_0}} \quad (3)$$

همچنین طبق تعریف نسبت سطح مقطع فشرده جریان به سطح مقطع سوراخ را ضریب سطح نامیده و با  $C_c$  نشان می دهند.

$$C_c = \frac{A_c}{A_0} = \frac{D_c^2}{D_0^2} \quad (4)$$

با توجه به تعاریف فوق می توان دریافت که مقدار واقعی گذر حجمی جریان آب که برابر است با  $V_c A_c$  کمتر از مقدار گذر تئوری ( $Q_0 = V_0 A_0 = A_0 \sqrt{2gH_0}$ ) می باشد. نسبت گذر واقعی به گذر تئوری را ضریب تخلیه نامیده و با  $C_d$  نشان می دهند.

$$C_d = \frac{Q_{\text{experimental}}}{Q_0} = \frac{V_c A_c}{V_0 A_0} \quad (5)$$

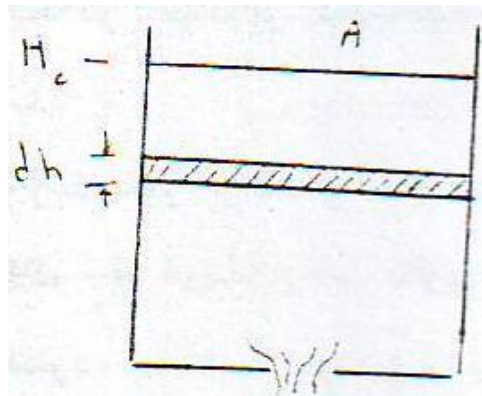
واضح است که :

$$C_d = C_c C_v \quad (\text{الف-5})$$

برای تعیین زمان تئوری لازم برای تخلیه مقدار معینی مایع از سوراخ یک مخزن شکل (2) را در نظر می گیریم. فرض می کنیم که در لحظه  $t$  ارتفاع آب  $h$  باشد و بعد از  $dt$  ثانیه از ارتفاع آب به اندازه  $dh$  کاسته شود. اگر  $A$  سطح مقطع مخزن باشد، با نوشتن رابطه اصل بقای جرم برای المانی از حجم مخزن و سپس انتگرال گیری در تمام حجم مخزن می توان رابطه ای جهت تعیین زمان تخلیه بدست آورد.

$$A dh = A_0 \sqrt{2gh} dt \quad (6)$$

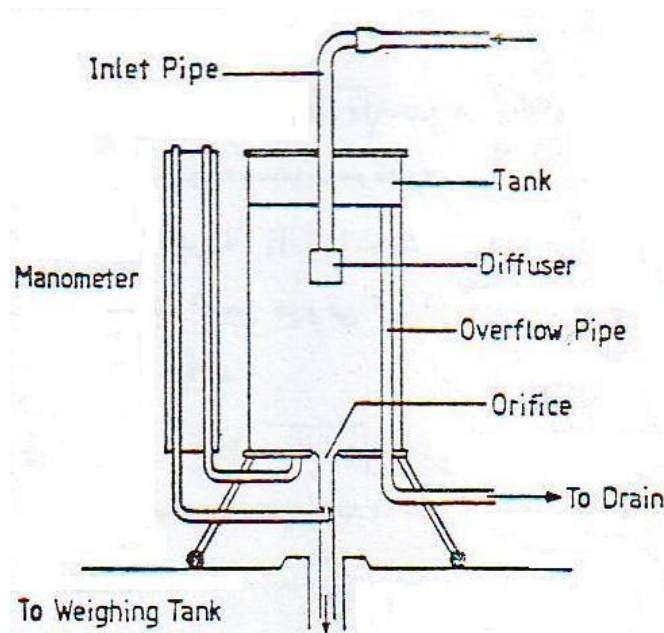
$$t = \frac{2A}{A_0 \sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) \quad (7)$$



شکل (2)

### شرح دستگاه و روش آزمایش :

دستگاه مطابق شکل (3) از یک مخزن استوانه ای شفاف با دو مانومتر یکی برای تعیین  $H_0$  و دیگری لوله پیتوت برای تعیین  $H_c$  تشکیل شده است. جهت جلوگیری از تلاطم آب در محل ورودی آب به مخزن یک دیفیوزر قرار داده شده است. بمنظور تثبیت ارتفاع آب در مخزن یک لوله سرریز جهت تخلیه آب اضافی در مخزن قرار دارد.



شکل (۳)

سوراخ مورد آزمایش در زیر مخزن نصب شده است. مشخصات این روزنه معلوم است. این آزمایش به ترتیب در سه مرحله زیر انجام می شود:

الف: اندازه گیری ضرایب  $C_d$ ،  $C_c$  و  $C_v$  در ارتفاع ثابت آب

ب: اندازه گیری ضریب تخلیه ( $C_d$ ) در ارتفاعات مختلف

ج: اندازه گیری تجربی زمان تخلیه آب از مخزن در ارتفاعات مختلف و مقایسه آن با مقادیر تئوری

مشخصات دستگاه آزمایش اوریفیس	
قطر مخزن (mm)	قطر اوریفیس (mm)
$D = 150$	$D_0 = 13$

**مرحله اول:** برای انجام مرحله اول آزمایش شیر کنترل جریان آب در روی میز آزمایشگاهی را طوری باز می کنیم تا مخزن پر شده و ضمن ثابت بودن ارتفاع آب در مخزن میزان آب اضافی برگشتی از لوله سرریز در حداقل باشد. با اندازه گیری گذر واقعی توسط میز آزمایشگاهی و ارتفاع آب در مخزن ( $H_0$ ) و داشتن قطر سوراخ می توان ضریب تخلیه ( $C_d$ ) را از رابطه (۵) بدست آورد.

$$C_d = \frac{Q_{\text{experimental}}}{A_0 \sqrt{2gH_0}}$$

برای تعیین ضریب سرعت ( $C_v$ ) می بایست توسط لوله پیتوت مقدار  $H_c$  را تعیین نموده و با داشتن  $H_0$  از رابطه شماره (۳) استفاده نمود.

برای تعیین ضریب سطح ( $C_c$ ) توسط تیغه ای لبه تیز در زیر مخزن قطر جت آب را در مقطع فشرده تعیین نموده و از رابطه شماره (۴) استفاده می شود.

**مرحله دوم:** برای انجام مرحله دوم شیر کنترل جریان آب را کمی می بندیم تا آب در ارتفاع پایین تری (حدواً ۴ سانتی متر پایین تر از مقدار اولیه) قرار گیرد. بعد از مدتی که آب در ارتفاع ثابتی قرار گرفت میزان گذر آب را تعیین کرده و ارتفاع آب در مخزن را یادداشت می نماییم. بهتر است در تمام مدتی که مشغول اندازه گیری گذر آب هستیم چندین ارتفاع را یادداشت کرده و متوسط آنها را به عنوان ارتفاع ثابت آب در نظر بگیرید. با داشتن گذر واقعی و ارتفاع آب متناظر با آن می توان ضریب تخلیه را در هر ارتفاع بدست آورد. این مرحله از آزمایش را برای ۶ یا ۷ ارتفاع مختلف انجام دهید.

**مرحله سوم:** برای انجام مرحله سوم شیر کنترل جریان را باز تا سطح آب به ارتفاع معینی برسد سپس آن را سریع بسته و همزمان با کروномتر زمان لازم تا تخلیه کامل را اندازه می گیریم. بهتر است ابتدا اجازه دهیم تا سطح آب از ارتفاع معین بالاتر رفته و شیر کنترل را ببندیم سپس هنگام رسیدن سطح آب به ارتفاع معین سنجش زمان را شروع کنیم. زمان تخلیه کامل را برای پنج ارتفاع مختلف آب اندازه بگیرید.

### نتایج و محاسبات

ضرایب تخلیه ( $C_d$ )، سرعت ( $C_v$ ) و سطح ( $C_c$ ) را در مرحله اول بدست آورده با هم مقایسه کنید. آیا این ضرایب از رابطه (الف-۵) تبعیت می کنند.

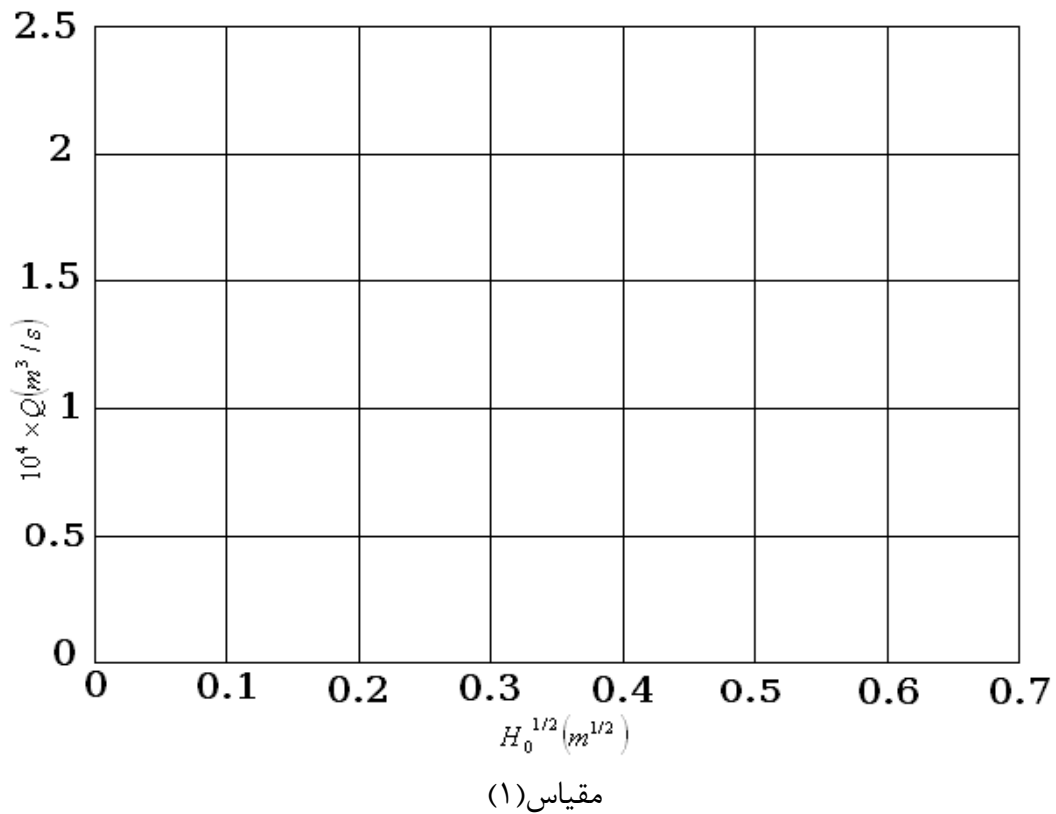
نتایج حاصل از مرحله دوم را در جدول (۱) یادداشت نموده و سپس توسط محاسبات آن را کامل کنید. به کمک جدول (۱) نمودار تغییرات  $Q$  بر حسب  $H_0^{1/2}$  را در مقیاس ۱ رسم نمایید. اگر این نمودار از مبدا عبور نکند برای آن چه دلیلی می توان داشت. تغییرات  $C_d$  نسبت به  $H_0$  چگونه است؟  
نتایج حاصل از مرحله سوم را در جدول (۲) یادداشت نموده و با هم مقایسه کنید. زمان تجربی و تئوری را بر حسب  $H_0^{1/2}$  در روی یک نمودار رسم و مقایسه نمایید.

جدول (۱) تعیین ضریب تخلیه در ارتفاع مختلف

$m$ $kg$	$t$ $s$	$H_0$ $mm$	$Q \times 10^4$ $m^3/s$	$H_0^{0.5}$ $m^{0.5}$	$C_d$

جدول (۲) زمان تخلیه تئوری و تجربی (  $H_2 = 10\text{cm}$  )

$H_1(\text{mm})$	$t(\text{s})$ تجربی	$t(\text{s})$ تئوری	$H_1^{1/2} - H_2^{1/2}$



برای بدست آوردن رابطه (۱) از معادله برنولی می بایست فرضیاتی نمود. این فرضیات چیست؟  
 اگر سطح مقطع مخزن (A) برابر  $4.12 \times 10^{-2} \text{ m}^2$  باشد، وقتی که میزان گذر تخلیه  
 $1.97 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  است سرعت سطح آب چقدر است؟  
 افت هد آب از ورود به مخزن تا خروج از سوراخ از چه رابطه ای بدست می آید؟

مقدار زمان واقعی لازم برای تخلیه یک مخزن از مقدار تئوری آن که از رابطه (۷) بدست می آید کمتر است یا بیشتر ، چرا؟ برای نزدیکتر شدن این دو مقدار چه پیشنهاد اصلاحی در رابطه (۷) دارید؟ اگر در عمل گذر واقعی از یک سوراخ معلوم به صورت  $Q = KH_0^n$  نشان داده شود ، روشی تجربی جهت تعیین  $K$  و  $n$  پیشنهاد دهید. مقادیر تجربی و تئوری  $K$  و  $n$  برای اوریفیس نصب شده در زیر مخزن چه مقدار می باشند.

## ونتوری متر

### هدف آزمایش :

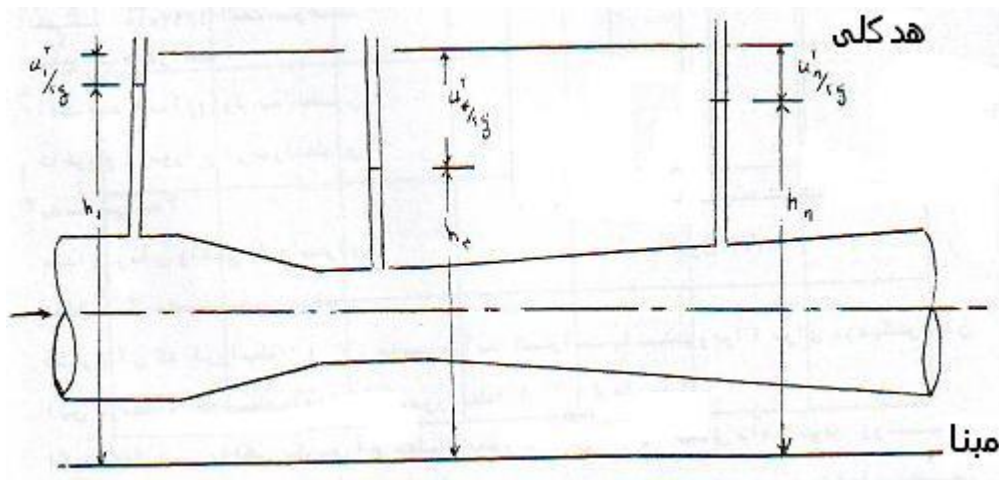
ونتوری لوله ای است که سطح مقطع آن به تدریج کم می شود و بعد از قسمت باریک شده لوله (گلوگاه) دوباره سطح مقطع آن اضافه شده تا به قطر اولیه می رسد. هدف از این آزمایش آشنایی با ونتوری و تغییرات فشار در قسمت‌های مختلف آن و مدرج کردن یک ونتوری متر به عنوان وسیله ای جهت اندازه گیری گذر سیال در لوله ها می باشد.

### تئوری آزمایش :

در شکل (۱) یک جریان ایده آل مایعی در لوله ونتوری نشان داده شده است. اگر  $a_1$  ،  $a_4$  و  $a_n$  به ترتیب سطح مقطع لوله ونتوری در مدخل ورودی ، گلوگاه و مقطعی اختیاری و همچنین  $h_1$  ،  $h_4$  و  $h_n$  ارتفاعات پیزومتری در این مقاطع باشند با صرف نظر کردن از افت انرژی در لوله ونتوری و ثابت فرض کردن سرعت و ارتفاعات پیزومتری دو مقطع می توان رابطه برنولی و پیوستگی را بین دو مقطع نوشت و با حذف یکی از سرعت ها در دو رابطه فوق رابطه ۱ را نتیجه گرفت و سپس گذر ایده آل جریان را از رابطه (۲) بدست آورد.

$$u_4 = \frac{\sqrt{2g(h_1 - h_4)}}{\sqrt{1 - \left(\frac{a_4}{a_1}\right)^2}} \quad (1)$$

$$Q_4 = a_4 u_4 = a_4 \frac{\sqrt{2g(h_1 - h_4)}}{\sqrt{1 - \left(\frac{a_4}{a_1}\right)^2}} \quad (2)$$



شکل (۱): شرایط ایده آل در لوله ونتوری

با توجه به افت انرژی بین مقاطع ۱ و ۴ و ثابت نبودن سرعت ها در هر مقطع ، مقدار واقعی گذر جریان کمتر از مقدار بدست آمده از رابطه (۲) می باشد. برای برطرف نمودن اثرات فوق ضریبی به نام ضریب



دستگاه که با  $C$  نشان داده می شود به طرف دوم رابطه (۲) اضافه کرده و عملاً به صورت رابطه زیر مورد استفاده قرار می گیرد.

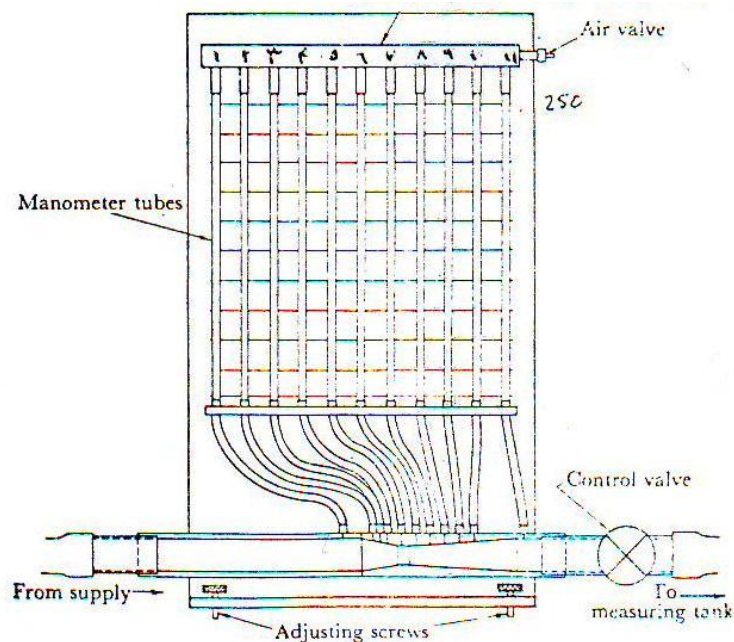
$$Q = Ca_4 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_4)}{1 - \left(\frac{a_4}{a_1}\right)^2}} = CQ_t \quad (3)$$

به کمک رابطه برنولی و معادله پیوستگی بین مقاطع ورودی و هر مقطع اختیاری دیگر می توان توزیع فشار ایده آل را در طول لوله ونتوری به صورت رابطه (۴) بدست آورد.

$$\frac{h_n - h_1}{u_4^2 / 2g} = \left(\frac{a_4}{a_1}\right)^2 - \left(\frac{a_4}{a_n}\right)^2 \quad (4)$$

### شرح دستگاه و روش آزمایش :

شکل (۲) نشان دهنده دستگاه ونتوری می باشد. در طول لوله ونتوری ۱۱ پیزومتر جهت اندازه گیری فشار نسبی در نقاط مختلف ونتوری نصب شده است. توسط تلمبه کردن هوا از مسیری در بالای پیزومترها می توان سطح آب در شاخه های پیزومتری را در مقیاس مدرج پشت آنها قرار داد. در ونتوری مترهایی که برای اندازه گیری دبی جریان به کار می روند فقط دو پیزومتر یکی در ورودی و دیگری در گلوگاه ونتوری نصب می شوند زیرا اندازه گیری گذر سیال فقط بستگی به مقدار ارتفاع متناظر با فشار این دو مقطع دارد. تغییرات گذر جریان توسط شیر کنترل در قسمت خروجی ونتوری انجام می گیرد.

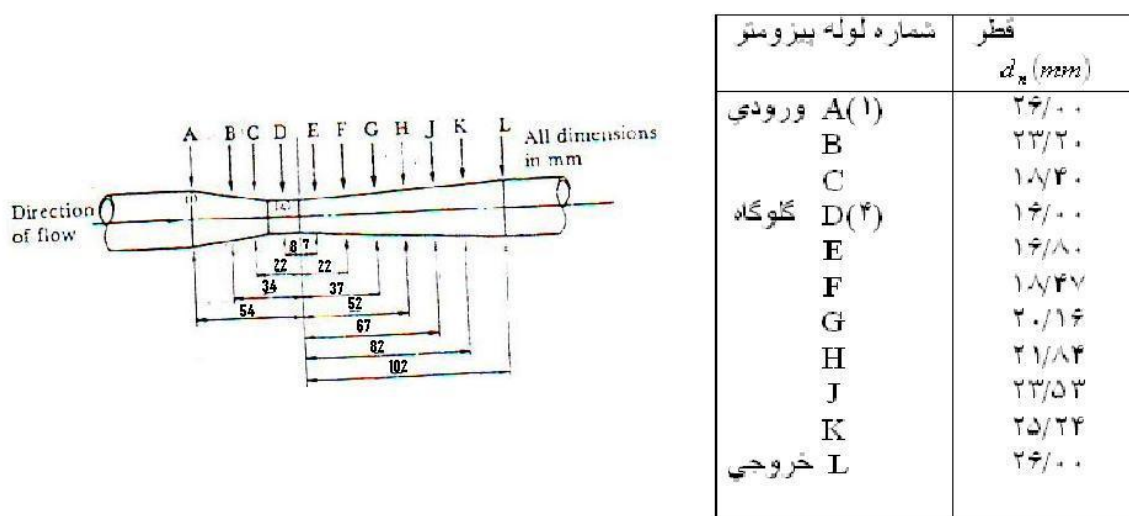


شکل (۲): دستگاه ونتوری متر

قبل از شروع آزمایش لازم است دستگاه تنظیم و تراز گردد. اولین مرحله آزمایش وقتی است که شیر کنترل جریان طوری باز باشد که سطح آب در پیزومتر اول در محدوده بالایی مقیاس و در پیزومتر چهارم (پیزومتر گلوگاه) در محدوده پایین مقیاس مدرج قرار گیرد. مقدار گذر واقعی این جریان توسط میز

آزمایشگاهی قابل تعیین است. با قرائت  $h_1$  و  $h_4$  و داشتن ابعاد ونتوری می توان مقدار گذر ایده آل ( $Q_1$ ) را از رابطه (۲) بدست آورد. از مقایسه گذر واقعی و نتوری در رابطه (۳) می توان مقدار  $C$  (ضریب دستگاه) را بدست آورد. برای بررسی تغییرات  $C$  بر حسب گذر بهتر است آزمایش فوق را در ۱۰ مرحله انجام داد. برای این منظور در هر مرحله شیر خروجی ونتوری را طوری می بندیم که مقدار  $h_1 - h_4$  به اندازه  $\frac{1}{10}$  مقدار مرحله اول کاهش یابد.

برای تعیین توزیع فشار واقعی در طول لوله ونتوری و مقایسه آن با رابطه (۴) بهتر است که هنگام انجام مراحل فوق در دو مرحله تمام پیزومترها یادداشت شوند. انتخاب این دو مرحله بهتر است که در محدوده گذر های زیاد باشد. قطر لوله مقاطع مختلف ونتوری و محل انشعابهای پیزومتری در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳): قطر مقاطع مختلف و محل پیزومترها بر حسب میلیمتر

### نتایج و محاسبات

نتایج حاصل از آزمایش را در جدول (۱) یادداشت نموده و سپس آن را کامل کنید. برای تعیین توزیع فشار واقعی نتایج حاصل از دو مرحله را که در آن تمام پیزومترها قرائت می شوند در جدول (۲) یادداشت نموده و سپس آن را کامل کنید.

به کمک جدول (۱) تغییرات  $(h_1 - h_4)^{1/2}$  را بر حسب  $Q \times 10^4$  در مقیاس (۱) رسم نمایید. به کمک این نمودار رسم شده مقدار متوسط  $C$  چگونه بدست می آید؟ این مقدار متوسط را بدست آورید. مقادیر  $Q$  واقعی را بر حسب  $C$  در مقیاس (۲) رسم نمایید. آیا تغییرات  $(h_1 - h_4)^{1/2}$  بر حسب  $Q$  خطی است؟ تغییرات  $Q$  بر حسب  $C$  چگونه است؟ اگر دستگاه تراز نباشد لوله های پیزومتری به صورت مایل قرار می گیرند و خطایی ثابت در قرائت  $(h_1 - h_4)$  به وجود می آید. اثر این خطا در نتایج بدست آمده چیست؟ در حالت شیبدار بودن ونتوری متر رابطه ای برای تعیین دبی حجمی بدست آورید.

جدول (۱): نتایج حاصل از مرحله اول آزمایش

$M(kg)$	$t(s)$	$h_1(mm)$	$h_4(mm)$	$h_n(mm)$	$Q \times 10^4 (m^3/s)$	$h_1 - h_4$ (m)	$(h_1 - h_4)^{\frac{1}{2}}$ $\left(m^{\frac{1}{2}}\right)$	C	R

مقادیر تئوری تغییرات فشار به هد سرعت در گلوگاه توسط رابطه (۴) تعیین می شود. با توجه به معلوم بودن قطر ونتوری در مقاطع مختلف به منظور جلوگیری از اتلاف وقت دانشجویان این محاسبات انجام شده و نتایج آن در جدول (۳) آمده است.

مقادیر تجربی این تغییرات توسط جدول (۲) بدست آمده است، مقادیر تئوری و تجربی تغییرات نسبی فشار  $\frac{(h_1 - h_n)}{u_4^2 / 2g}$  را بر حسب محل پیزومتر تماما در مقیاس (۳) رسم نمایید. (یک نمودار برای مقادیر

تئوری و دو نمودار برای دو مرحله تجربی) این ۳ نمودار را با هم مقایسه کنید و علت اختلاف آنها در قسمت های مختلف طول ونتوری را بحث کنید.

نتایج آزمایش نشان می دهد که فشار در انتهای ونتوری کمتر از فشار در ابتدای آن است و این اختلاف به علت افت انرژی سیال است که با افزایش دبی جریان اضافه می شود. آیا می توان این اختلاف فشار را برای اندازه گیری گذر جریان بکار برد؟ چرا؟

کاهش فشار در قسمت واگرای ونتوری به مقدار زیادی جبران می شود. این جبران فشار به صورت زیر بیان می شود.

$$R = \frac{h_n - h_4}{h_1 - h_4} \times 100 = \text{درصد بهبود افت فشار}$$

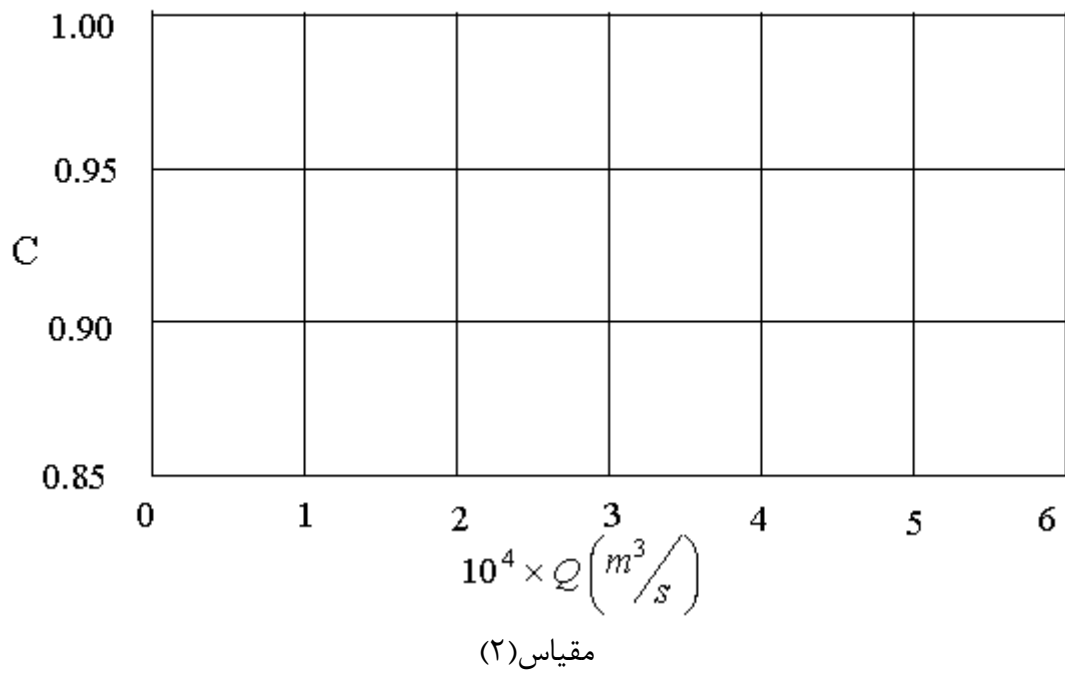
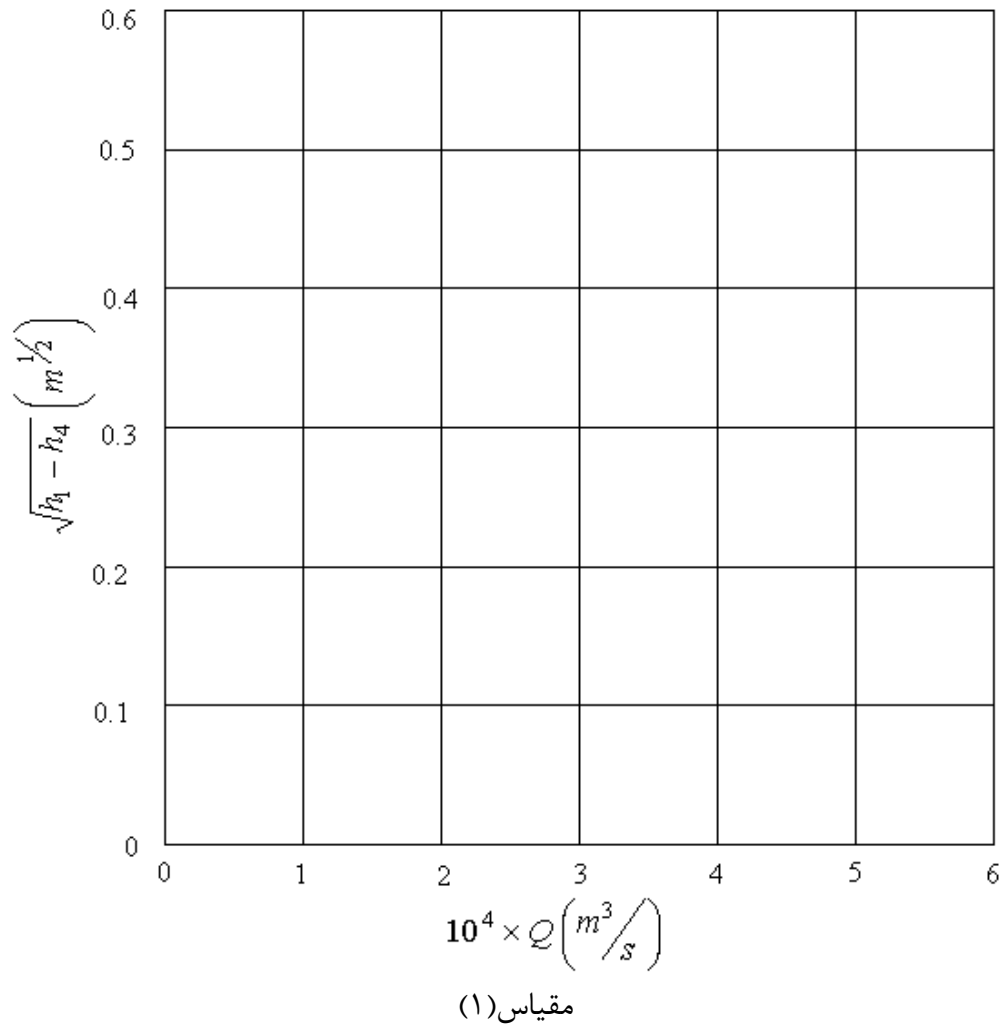
مقدار  $R$  را برای مراحل مختلف حساب کرده و تغییرات  $R$  را بر حسب  $Q$  رسم نمایید. نحوه تغییرات گرادیان فشار در قسمت همگرا و واگرا متفاوت است. روی این تغییرات بحث کنید.

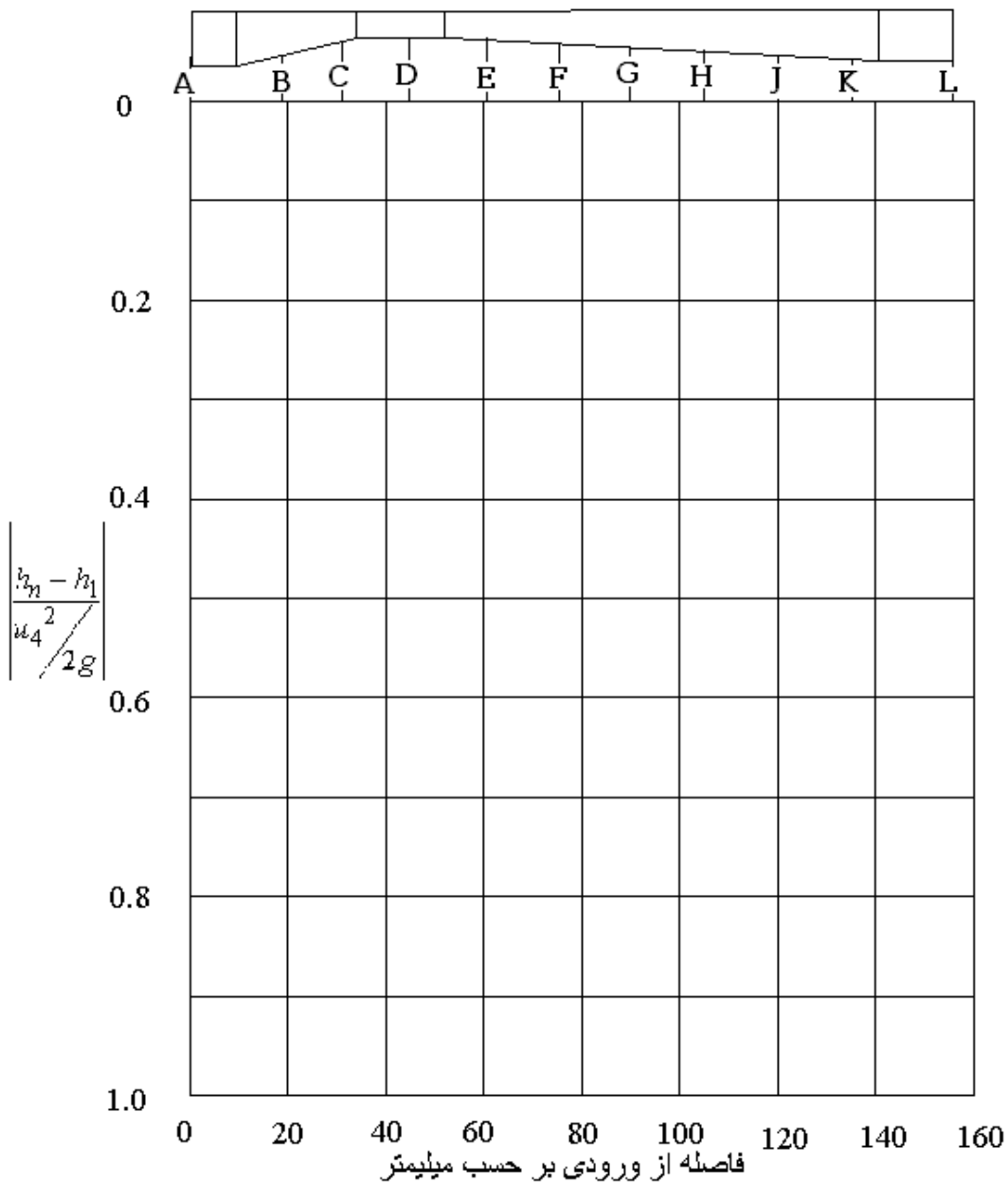
جدول (۲) تغییرات تجربی نسبت افت فشار به هد سرعت در گلوگاه

شماره لوله پیزومتر	$m = 22.5 \text{ kg}$ $t = \text{ sec}$			$m = 22.5 \text{ kg}$ $t = \text{ sec}$		
	$Q = \frac{m^3}{s}$			$Q = \frac{m^3}{s}$		
	$\frac{u_4^2}{2g} = m$			$\frac{u_4^2}{2g} = m$		
	$h_n$ (mm)	$h_n - h_1$ (m)	$\frac{h_n - h_1}{\frac{u_4^2}{2g}}$	$h_n$ (mm)	$h_n - h_1$ (m)	$\frac{h_n - h_1}{\frac{u_4^2}{2g}}$

جدول (۳) تغییرات تئوری نسبت افت فشار به هد سرعت در گلوگاه

شماره لوله پیزومتر	قطر سطح مقطع (mm)	$\frac{d_4}{d_n}$	$\left(\frac{a_4}{a_n}\right)^2$	$\left(\frac{a_4}{a_1}\right)^2 - \left(\frac{a_4}{a_n}\right)^2$
A(۱)	۲۶/۰۰	۰/۶۱۵	۰/۱۴۴	۰/۰۰۰
B	۲۳/۲۰	۰/۶۹۰	۰/۲۲۶	-۰/۰۸۲
C	۱۸/۴۰	۰/۸۶۹	۰/۵۷۵	-۰/۴۳۱
D(۴)	۱۶/۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	-۰/۸۵۶
E	۱۶/۸۰	۰/۹۵۳	۰/۸۳۰	-۰/۶۸۶
F	۱۸/۴۷	۰/۸۶۷	۰/۵۶۵	-۰/۴۲۱
G	۲۰/۱۶	۰/۷۸۷	۰/۴۰۰	-۰/۲۵۶
H	۲۱/۸۴	۰/۷۳۰	۰/۲۸۹	-۰/۱۴۵
J	۲۳/۵۳	۰/۶۸۰	۰/۲۱۵	-۰/۰۷۱
K	۲۵/۲۴	۰/۶۳۳	۰/۱۶۸	-۰/۰۲۴
L	۲۶/۰۰	۰/۶۱۵	۰/۱۴۴	۰/۰۰۰





مقیاس (۳)

اگر بخواهیم از یک ونتوری برای اندازه گیری گذر یک گاز استفاده کنیم چه اصلاحی در ونتوری مورد استفاده پیشنهاد می کنید.

## مقایسه وسایل اندازه گیری گذر حجمی ( ونتوری متر - اوریفیس متر - روتامتر )

### هدف آزمایش :

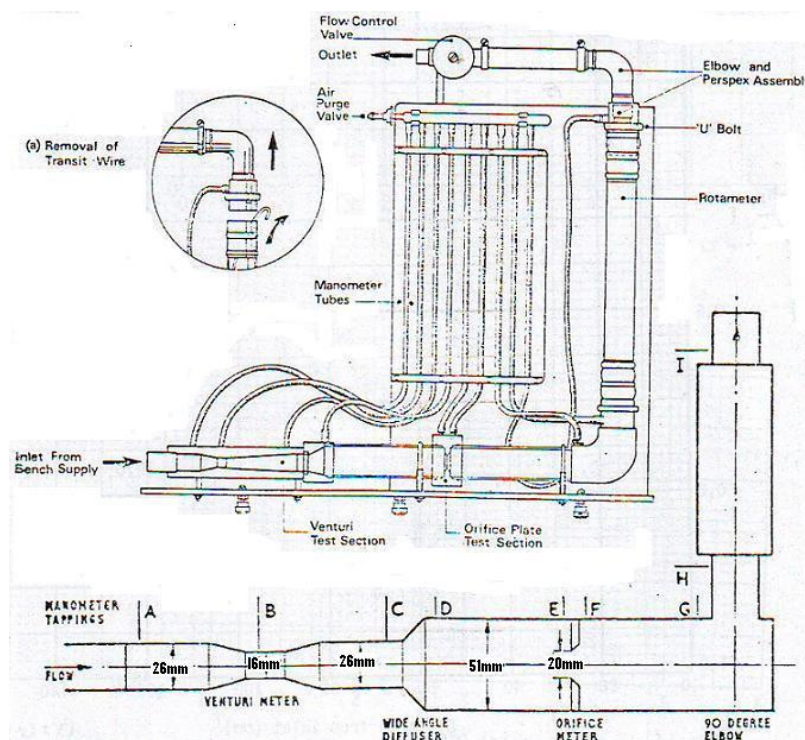
هدف از این آزمایش اندازه گیری گذر سیال با ونتوری ، اوریفیس و رتامتر و مقایسه آنها با یکدیگر می باشد. همچنین ضرایب تخلیه و ضریب افت انرژی برای هر کدام از دبی سنجها و دیفیوزر و زانویی نصب شده در دستگاه محاسبه و مقایسه می گردند.

### تئوری آزمایش :

به کمک معادله برنولی بین مقاطع مختلف لوله ونتوری یا اوریفیس یا رتامتر می توان روابطی جهت تعیین دبی جریان بدست آورد که اصول آن بر مبنای اندازه گیری افت فشار بین آن مقاطع می باشد. اگر جریان آب از وسیله مورد آزمایش به ترتیب شکل (۱) باشد برای هر کدام از ۳ وسیله فوق می توان روابطی تئوری جهت محاسبه دبی بدست آورد.

**الف - ونتوری متر:** به کمک رابطه برنولی و با صرف نظر کردن از افت انرژی بین مقاطع ورودی و گلوگاه ونتوری می توان رابطه (۱) را جهت محاسبه دبی در ونتوری بکار برد.

$$Q = A_B V_B = A_B \sqrt{\frac{2g(h_A - h_B)}{1 - \left(\frac{A_B}{A_A}\right)^2}} \quad (1)$$



شکل (۱): شکل و ابعاد دستگاه مورد آزمایش

که در آن  $A_B$  و  $A_A$  به ترتیب سطح مقطع  $B$  و  $A$  و همچنین  $h_B$  و  $h_A$  ارتفاع آب در لوله های پیزومتری می باشند.

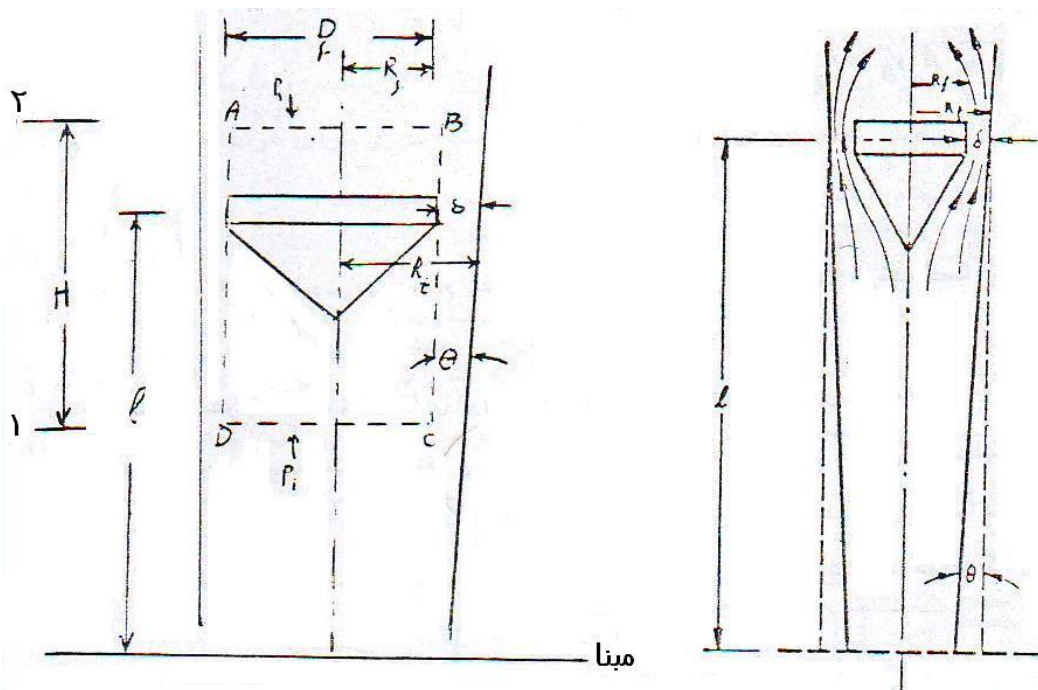
ب- **اوریفیس متر:** به علت شکل خاص اوریفیس متر که بین مقاطع  $E$  و  $F$  نصب شده است افت انرژی کم نبوده و نمی توان در بکار بردن رابطه برنولی از آن صرف نظر نمود. نظر به اینکه اختلاف ارتفاعهای پیزومترهای  $E$  و  $F$  خود ناشی از افت انرژی بین این مقاطع هم می باشد. لذا می توان به کمک رابطه برنولی نتیجه گرفت که :

$$Q = A_F V_F = K A_F \frac{\sqrt{2g(h_E - h_F)}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_F}{A_E}\right)^2}} \quad (2)$$

در آن  $K$  به نام ضریب تخلیه دستگاه می باشد و برای اوریفیس خاص نصب شده روی دستگاه مقدار آن برابر با  $0.61$  می باشد. دقت شود که در مقطع  $E$  قطر مقطع جریان  $51$  میلیمتر و در  $F$  قطر مقطع جریان مقدار  $20$  میلیمتر می باشد.

ج- **روتامتر:** با انتخاب حجم کنترلی مطابق شکل (۲) که شامل مخروط شناور باشد و با بکار بردن رابطه برنولی و تغییرات مقدار حرکت بین مقاطع  $1$  و  $2$  می توان نتیجه گرفت که افت انرژی بین این دو مقطع مقداری است ثابت و به  $l$  (محل قرار گرفتن شناور) بستگی ندارد. از طرف دیگر چون این افت به سرعت سیال در اطراف شناور بستگی دارد پس می توان نتیجه گرفت که سرعت سیال در اطراف شناور هم ثابت است. اگر مقدار سرعت سیال را با  $V$  و سطح مقطع گذر سیال را با  $A_F$  نشان دهیم می توان مقدار دبی سیال را از رابطه (۳) که در آن  $\theta$  بر حسب رادیان است بدست آورد.

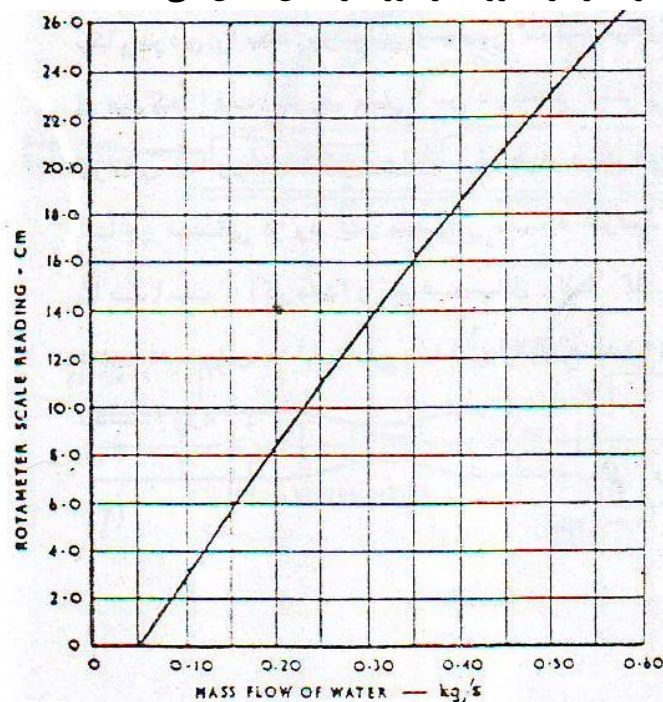
$$Q = A_F V = (\pi D_F \theta V) l \quad (3)$$



شکل (۲)



مشاهده می شود که مقدار دبی در روتامتر فقط به صورت خطی به  $l$  بستگی دارد. نظر به اینکه رابطه  $Q$  و  $l$  برای هر روتامتر معلومی خطی می باشد، لذا این تغییرات خطی برای هر روتامتری معلوم است. شکل شماره (۳) این تغییرات را برای روتامتر مورد آزمایش نشان می دهد.



شکل (۳): تغییرات دبی جرمی بر حسب محل قرار گرفتن شناور روتامتر

### تعیین ضرایب افت هر قسمت :

به کمک رابطه برنولی می توان مقدار افت انرژی در هر قسمت را محاسبه نمود. از طرف دیگر معمولاً افت انرژی را به صورت مضربی از انرژی جنبشی ورودی به آن قسمت به شکل رابطه (۴) نشان می دهند.

$$\Delta H_{MN} = K \frac{V_m^2}{2g} \quad (4)$$

حال با تعیین افت انرژی و انرژی جنبشی ورودی می توان ضریب افت ( $K$ ) هر قسمت به کمک روابط زیر بدست آورد.

**الف - ونتوری متر:** نظر به اینکه قطر ونتوری در مقاطع ورودی و خروجی آن برابر است لذا افت انرژی آن از رابطه (۵) بدست می آید.

$$\Delta H_{AC} = h_A - h_C \quad (5)$$

از طرف دیگر با توجه به رابطه پیوستگی و رابطه برنولی بین مقاطع ورودی و گلوگاه ونتوری و معلوم بودن نسبت سطوح دو مقطع که برابر با  $0.38$  است (قطر ورودی ونتوری  $26$  میلیمتر و قطر گلوگاه ونتوری  $16$  میلیمتر است) انرژی جنبشی ورودی محاسبه می گردد.

$$\frac{V_A^2}{2g} = 0.168(h_A - h_B) \quad (6)$$

به کمک روابط (۵) و (۶) می توان ضریب افت انرژی ونتوری را از رابطه (۴) بدست آورد.

ب- **اوریفیس متر:** با توجه به نسبت قطر ورودی اوریفیس متر به ونتوری متر که تقریباً عدد ۲ است می توان دریافت که انرژی جنبشی ورودی آن  $\frac{1}{16}$  انرژی جنبشی ورودی به ونتوری متر است. ضمناً افت انرژی در اوریفیس متر از رابطه (۷) محاسبه می شود.

$$\Delta H_{EF} = h_E - h_F \quad (۷)$$

حال با تعیین این مقادیر می توان ضریب افت انرژی در اوریفیس متر را بدست آورد.  
ج- روتامتر: افت انرژی در روتامتر از رابطه (۸) قابل مقایسه است

$$\Delta H_{HI} = h_H - h_I \quad (۸)$$

همانطور که قبلاً ذکر شد با یک نظر اجمالی در نتایج آزمایش می توان دریافت که افت انرژی در روتامتر مستقل از دبی است و مقدار ثابتی می باشد.  
با توجه به قطر ورودی روتامتر می توان دریافت که انرژی جنبشی ورودی آن برابر با انرژی جنبشی ورودی ونتوری متر است.

د- **دیفیوزر (انبساط مخروطی):** به کمک معادله برنولی افت انرژی در انبساط مخروطی از رابطه (۹) قابل محاسبه است. اثبات به عهده دانشجویان است.

$$\Delta H_{CD} = (h_C - h_D) + \frac{V_C^2}{2g} \left(1 - \frac{1}{16}\right) \quad (۹)$$

ضمناً به علت مساوی بودن قطر ورودی آن با قطر ورودی ونتوری متر می توان دریافت که انرژی جنبشی ورودی آنها هم یکسان است. پس به سهولت می توان ضریب افت آن را از رابطه (۱۰) بدست آورد.

$$K = \frac{\Delta H_{CD}}{\frac{V_C^2}{2g}} \quad (۱۰)$$

ه- **زانویی ۹۰ درجه:** به کمک رابطه برنولی بین نقاط  $G$  و  $H$  (ورودی و خروجی زانویی) و همچنین رابطه تعادلی در لوله های پیزومتری (فشار در روی سطح مایع در لوله های  $G$  و  $H$  یکسان است) می توان افت انرژی در زانویی با قطر تبدیلی را از رابطه (۱۱) بدست آورد.

$$\Delta H_{GH} = (h_G - h_H) + \frac{V_G^2}{2g} (1 - 16) \quad (۱۱)$$

ضمناً انرژی جنبشی ورودی به زانویی  $\frac{1}{16}$  انرژی جنبشی ورودی به ونتوری متر است. چرا؟

### شرح دستگاه و روش آزمایش:

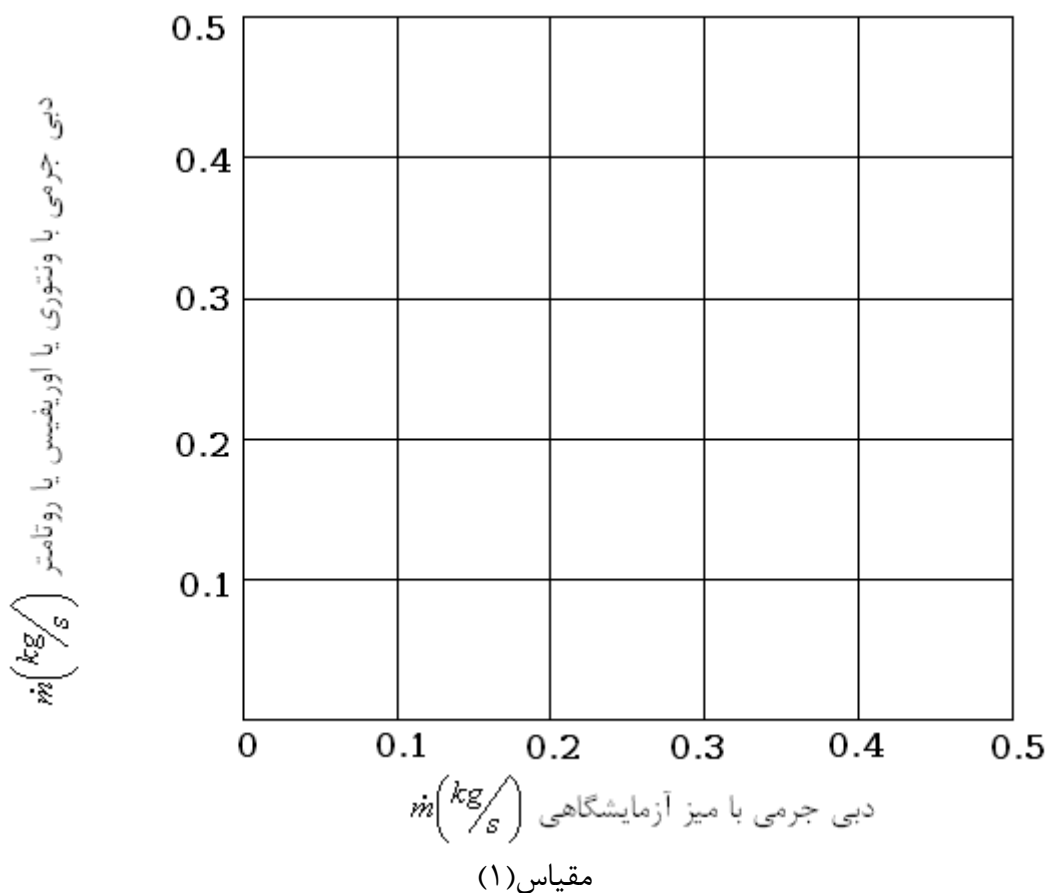
دستگاه مورد آزمایش مطابق شکل (۱) از قسمتهای ونتوری ، دیفیوزر ، اوریفیس ، زانویی ۹۰ درجه و روتامتر تشکیل شده است. در قسمت خروجی دستگاه شیری جهت تنظیم دبی نصب شده است. اصول اندازه گیری دبی در ۳ قسمت ونتوری ، اوریفیس و روتامتر یکسان است. گرچه ساخت ونتوری نسبت به اوریفیس مشکلتر است ولیکن افت انرژی جریان عبوری از آن کمتر می باشد. انتخاب نوع وسیله جهت تعیین دبی در تاسیسات هیدرولیکی بستگی به شرایط کار دارد. در قسمتهای مختلف دستگاه ۹ پیزومتر جهت اندازه گیری فشار نصب شده است.

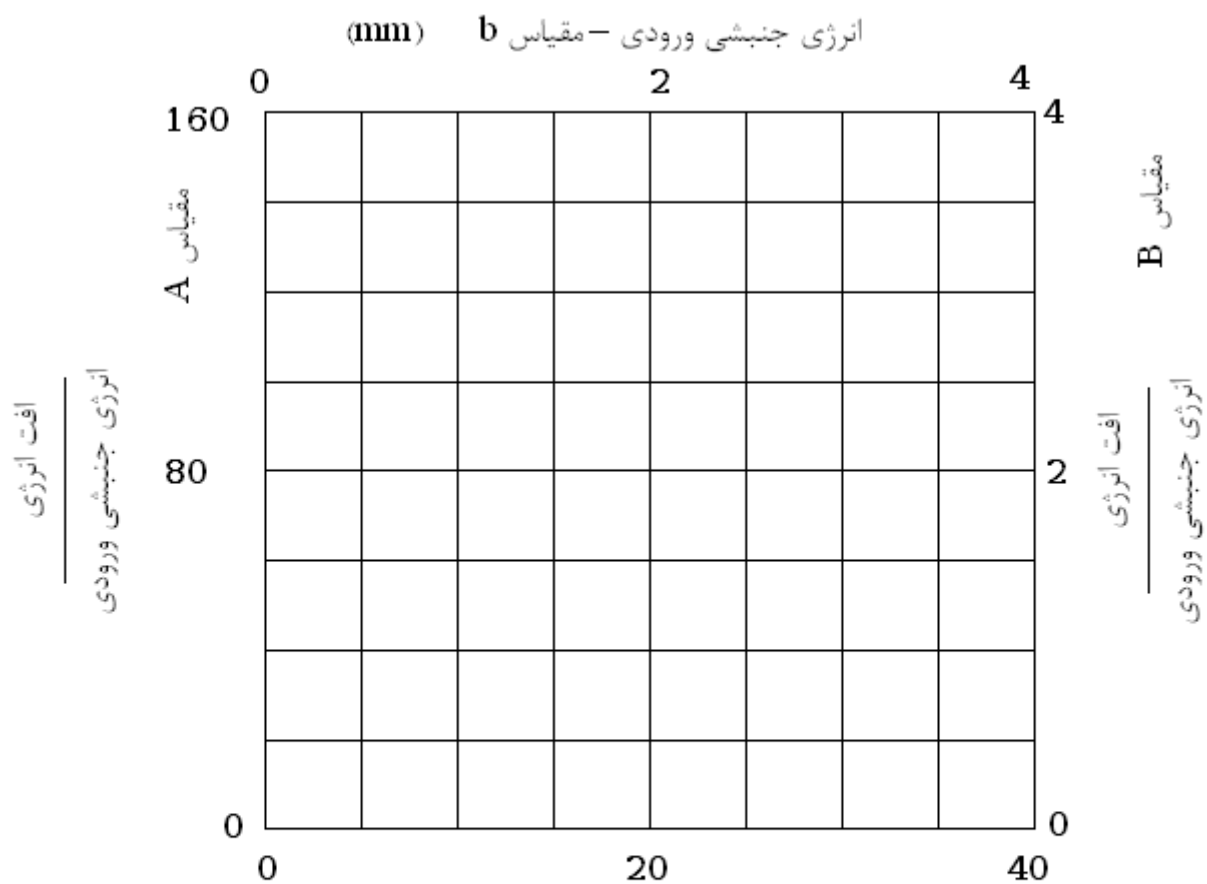
برای شروع آزمایش می بایست دستگاه را در ابتدا تنظیم نمود سپس با روشن کردن دستگاه شیر خروجی را طوری باز نمود که اولین پیزومتر در بالاترین سطح مقیاس و آخرین پیزومتر در پایین ترین سطح مقیاس قرار گیرد.

با یادداشت نمودن ارتفاع پیزومترها و مقیاس روتامتر و تعیین دبی توسط میز آزمایشگاهی می توان ضرایب افت هر پنج قسمت ونتوری ، دیفیوزر ، اوریفیس ، زانویی و روتامتر را تعیین نمود. جهت تعیین تغییرات این ضرایب با دبی بهتر است با کم کردن دبی توسط شیر خروجی دستگاه ، آزمایش را در ۱۰ مرحله انجام داده و جدول (۱) را تکمیل نمود.

بعد از انجام آزمایش و تکمیل محاسبات جدول ، تغییرات دبی جرمی بدست آمده توسط میز آزمایشگاهی را بر حسب دبی جرمی بدست آمده از ونتوری متر ، اوریفیس متر و روتامتر تماما در روی مقیاس (۱) رسم نمایید. نتیجه ای که از این نمودار بدست می آوريد ذکر نمایید. نصب هر ۳ وسیله دبی سنج را در تاسیسات هیدرولیکی مقایسه کنید.

تغییرات ضریب افت (  $K$  ) هر قسمت دستگاه را بر حسب انرژی جنبشی ورودی آن قسمت در روی مقیاس (۲) رسم نمایید. دقت شود که هر ۵ نمودار تواما روی مقیاس (۲) رسم شوند. از رسم این نمودارها برای هر کدام از قسمتها چه نتیجه ای گرفته می شود؟





انرژی جنبشی ورودی - مقیاس C (mm)

- ونتوری متر = مقیاس B و C
- اوریفیس متر = مقیاس b و A
- روتامتر = مقیاس A و C
- انبساط مخروطی = مقیاس B و C
- زانویی = مقیاس b و A

مقیاس (۲)

جدول (۱)

شماره آزمایش	ارتفاع مانومترها بر حسب میلیمتر										مقیاس رونلمتر	Kg جمع شده آب	t ثابته	m Kg/s	m (Kg/s)			$\Delta H_{AC} / \frac{V_A^2}{2g}$	$\Delta H_{EF} / \frac{V_E^2}{2g}$	$\Delta H_{HI} / \frac{V_H^2}{2g}$	$\Delta H_{CD} / \frac{V_C^2}{2g}$	$\Delta H_{GH} / \frac{V_G^2}{2g}$
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	تئوری					اوربیتس	رونلمتر						
۱																						
۲																						
۳																						
۴																						
۵																						
۶																						
۷																						
۸																						
۹																						
۱۰																						
۱۱																						
۱۲																						
۱۳																						

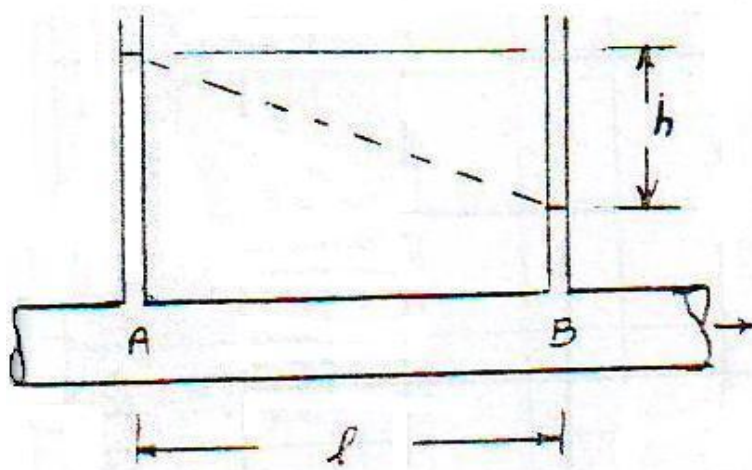
## افت فشار در اثر اصطکاک در لوله مستقیم

### هدف آزمایش :

هدف از این آزمایش بررسی قوانین موجود در مورد مقاومت اصطکاکی در مقابل حرکت سیال در داخل لوله بر حسب نوع جریان می باشد. همچنین می توان توسط معادله پوآزی برای جریان آرام (لایه ای) ضریب ویسکوزیته و توسط رابطه داری ویسباخ ضریب اصطکاک را تعیین نمود.

### تئوری آزمایش :

افت انرژی در اثر اصطکاک در داخل یک لوله مستقیم و افقی به صورت کاهش فشار ظاهر می شود. اگر جریان مایعی از لوله شکل (۱) عبور کند اختلاف ارتفاع سطوح مایعات ( $h$ ) در پیزومترهای  $A$  و  $B$  معرف افت انرژی در اثر اصطکاک یا افت فشار (به ازای واحد وزن سیال جاری) در لوله افقی می باشد.



شکل (۱) افت فشار در طول  $l$

نظر به اینکه بعد افت فشار به ازای واحد وزن سیال از دیمانسیون طول است به آن افت هد یا افت ارتفاع هم می گویند. در مسائل مهندسی معمولاً افت فشار را برای واحد طول لوله محاسبه می نمایند و به آن گرادیان فشار یا گرادیان هیدرولیکی می گویند. گرادیان هیدرولیکی را با  $i$  نشان می دهند.

$$i = \frac{h}{l} \quad (1)$$

در بررسی جریان سیالی در داخل لوله می توان نتیجه گرفت که در جریان آرام گرادیان هیدرولیکی متناسب با سرعت و در جریان آشفته متناسب با سرعت به توان عددی بین  $1/7$  تا  $2$  می باشد. مقدار این توان به عدد رینولدز ( $Re = \frac{\rho u D}{\mu}$ ) و زبری جداره داخلی لوله بستگی دارد. رابطه گرادیان هیدرولیکی و سرعت در جریان آرام توسط معادله پوآزی به شکل زیر بیان می شود.

$$i = \frac{h}{l} = \frac{32\mu u}{\rho g D^2} \quad (2)$$

رابطه (۲) را با کمی تغییرات در آن می توان به صورت رابطه (۳) درآورد که البته با توجه به کمیت سرعت در عدد رینولدز نمی توان نتیجه گرفت که در آن  $i$  متناسب با مجذور سرعت است.

$$i = \frac{64}{\text{Re}} \times \frac{u^2}{2gD} \quad (۳)$$

در محاسبات مهندسی برای محاسبه گرادیان هیدرولیکی در جریانهای آشفته از رابطه دارسی ویسباخ بصورت زیر استفاده می شود.

$$i = \frac{f}{D} \times \frac{u^2}{2g} \quad (۴)$$

در رابطه فوق  $f$  ضریب اصطکاک لوله نامیده می شود که به عدد رینولدز جریان و زبری داخلی لوله بستگی دارد. از روابط فوق پیداست که اگر بخواهیم در جریان آرام گرادیان هیدرولیکی را از رابطه دارسی ویسباخ محاسبه نماییم مقدار  $f$  از رابطه ۵ بدست می آید.

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (۵)$$

برای محاسبه  $f$  در جریان آشفته تجربیات زیادی انجام گرفته است و با توجه به فرضیات در هر تجربه روابط مختلفی پیشنهاد شده است. یکی از روابط پیشنهادی رابطه کلبروک است که به صورت رابطه (۶) می باشد.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log \left[ \frac{e}{D} + \frac{9.35}{\text{Re} \sqrt{f}} \right] \quad (۶)$$

در صورتی که عدد رینولدز بین ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ و لوله صاف باشد می توان از رابطه پیشنهادی بلازیوس به صورت زیر استفاده نمود.

$$f = \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}} \quad (۷)$$

در عمل رابطه گرادیان هیدرولیکی بر حسب سرعت را به صورت رابطه (۸) نشان می دهند که  $K$  و  $n$  برای یک جریان و لوله معین ثابت می باشد.

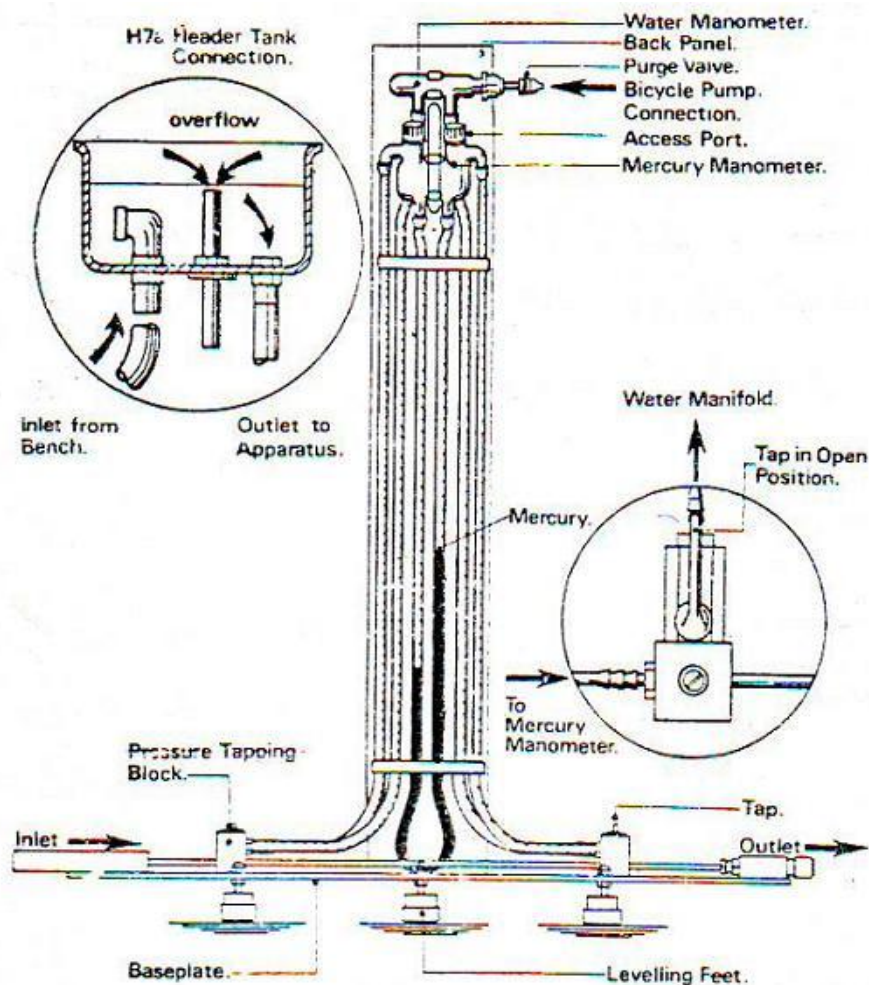
$$i = Ku^n \quad (۸)$$

مقدار  $n$  در ناحیه جریان آشفته بین ۱/۷ تا ۲ می باشد.

### شرح دستگاه و روش آزمایش :

شکل (۲) شمای دستگاه مورد آزمایش را نشان می دهد. توسط مانومترهای تفاضلی جیوه ای و آبی روی دستگاه می توان افت فشار بین دو نقطه از یک لوله مستقیم به طول ۵۲۴ میلیمتر ، قطر اسمی ۳ میلیمتر و سطح مقطع ۷/۰۶ میلیمتر مربع را اندازه گرفت. واضح است که در افت فشارهای کم (معمولا جریان آرام) از مانومترهای تفاضلی آبی و در افت فشارهای زیاد (معمولا جریان آشفته) از مانومتر تفاضلی جیوه ای استفاده می شود. برای اندازه گیری گذر آب در لوله از یک ظرف مدرج و کرومومتر استفاده می شود. تغییرات گذر آب توسط یک شیر سوزنی در قسمت خروجی لوله انجام می گیرد. برای برقراری

جریان (معمولا) آرام از تانک آب در ارتفاع ثابت استفاده می شود و برای برقراری جریان (معمولا) آشفته خروجی پمپ را مستقیم به لوله اصلی وصل می کنند.



شکل (۲): شمای دستگاه اندازه گیری افت فشار در لوله

قبل از شروع آزمایش ابتدا می بایست دستگاه را تنظیم نمود. سپس آزمایش را در دو مرحله (که در یکی بیشتر جریان آرام است و در دیگری بیشتر جریان آشفته) انجام می دهیم.

برای انجام مرحله اول آزمایش خروجی پمپ میز آزمایشگاهی را به تانک آب در ارتفاع ثابت وصل نموده و سپس توسط لوله ای در زیر این تانک آن را به داخل لوله مورد آزمایش هدایت می کنیم. توسط مانومتر تفاضلی آبی می توان افت فشار (افت هد) را قرائت نموده و نتیجه را یادداشت کرد. توسط بستن تدریجی شیر سوزنی در انتهای لوله این مرحله از آزمایش را برای چند گذر مختلف انجام دهید. اندازه گیری گذر در هر مرحله توسط ظرف مدرج و کرومومتر انجام می گیرد.

برای انجام مرحله دوم آزمایش خروجی پمپ را مستقیم به لوله اصلی وصل می کنیم. نظر به اینکه در چنین حالتی فشار خروجی پمپ در لوله مورد آزمایش اثر دارد لذا بیشتر جریان آشفته برقرار می شود. در این مرحله چون افت فشار زیادتر است از مانومتر تفاضلی جیوه ای برای اندازه گیری آن استفاده می شود. توسط بستن تدریجی شیر سوزنی در انتهای لوله این مرحله از آزمایش را هم برای چند گذر



مختلف انجام دهید. مقدار گذر را در بازشدگی شیر سوزنی می توان با ظرف مدرج و کرومومتر تعیین نمود. لازم است که در طول آزمایش دمای متوسط آب را اندازه گیری نمود.

### نتایج و محاسبات :

نتایج حاصل از مرحله اول و دوم آزمایش که شامل قرائت مانومترها ، حجم آب جمع شده و زمان آن می باشد در جداول (۱) و (۲) یادداشت نمایید. با معلوم شدن دبی و سطح مقطع لوله ستون مربوط به سرعت تکمیل می شود. همچنین با اندازه گیری افت فشار ( $h_1 - h_2$ ) و معلوم بودن طول لوله ستون مربوط به مقدار گرادیان هیدرولیکی تکمیل می شود. نظر به اینکه افت فشار اندازه گیری شده در مرحله دوم آزمایش بر حسب میلیمتر جیوه است لذا می بایست تفاضل ارتفاع مانومترها ( $h_1 - h_2$ ) در عدد  $12/6$  ضرب گردد تا به میلیمتر آب تبدیل شود. چگونگی به دست آوردن این ضرایب به عهده دانشجویان است.

جدول (۱) نتایج حاصل از مرحله اول آزمایش

$V$	$t(s)$	$u(m/s)$	$h_1(mm)$	$h_2(mm)$	$h_1 - h_2$ (m)	$i$	$\theta$	$\log i$	$\log u$

جدول (۲) نتایج حاصل از مرحله دوم آزمایش

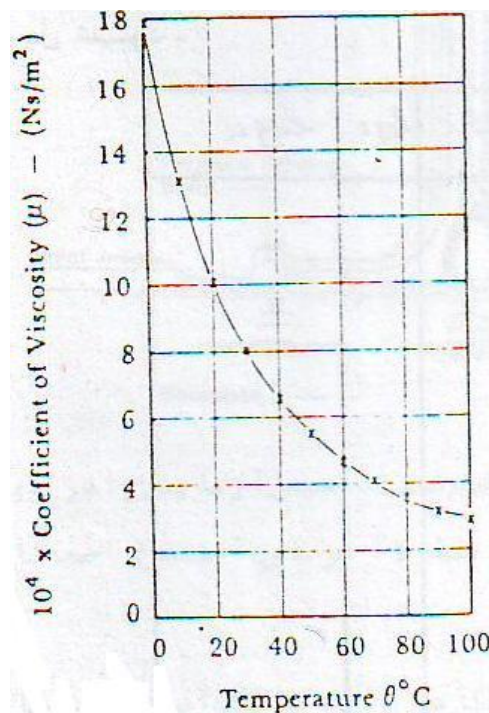
$V$	$t(s)$	$u(m/s)$	$h_1(mm)$	$h_2(mm)$	$h_1 - h_2$ (m)	$i$	$\theta$	$\log i$	$\log u$

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

حال مقادیر  $i$  برحسب  $u$  که در جدول قرار دارند بر روی مقیاس ۱ منتقل نموده و تغییرات  $i$  برحسب  $u$  را رسم نمایید. برای بررسی دقیقتر این تغییرات در سرعت‌های کم (سرعت تا ۱ متر بر ثانیه) تغییرات  $i$  برحسب  $u$  را در مقیاس بزرگتر (۲) هم رسم نمایید. از رسم نمودارهای رسم شده در مقیاس‌های (۱) و (۲) چه نتیجه‌ای می‌توان گرفت. به کمک نمودار رسم شده در مقیاس (۲) عدد رینولدز بحرانی را تعیین نمایید. همچنین به کمک این نمودار مقدار  $\frac{i}{u}$  را در ناحیه آرام بدست آورده و سپس به کمک رابطه پوآزی (رابطه ۲) مقدار ضریب ویسکوزیته ( $\mu$ ) را محاسبه نمایید. با داشتن دمای متوسط آب در طول آزمایش ضریب ویسکوزیته آب از نمودار شکل (۳) قابل تعیین است. مقدار ضریب ویسکوزیته تجربی را با مقدار تعیین شده از نمودار شکل (۳) مقایسه کنید.

تغییرات  $\log i$  بر حسب  $\log u$  (حاصل از دو مرحله آزمایش) را تماماً در مقیاس (۳) رسم نمایید. اگر به طور کلی گرادیان هیدرولیکی ( $i$ ) متناسب با  $u^n$  باشد به کمک نمودار رسم شده در مقیاس (۳) مقدار  $n$  را برای جریان آرام و آشفته تعیین نمایید. در دمای متوسط آب در طول آزمایش مقدار ضریب ویسکوزیته آب را از شکل (۳) بدست آورده و در چند مرحله آزمایش که جریان آشفته است (در سرعت‌های بیشتر از یک متر بر ثانیه) عدد رینولدز را بدست آورید.

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu}$$

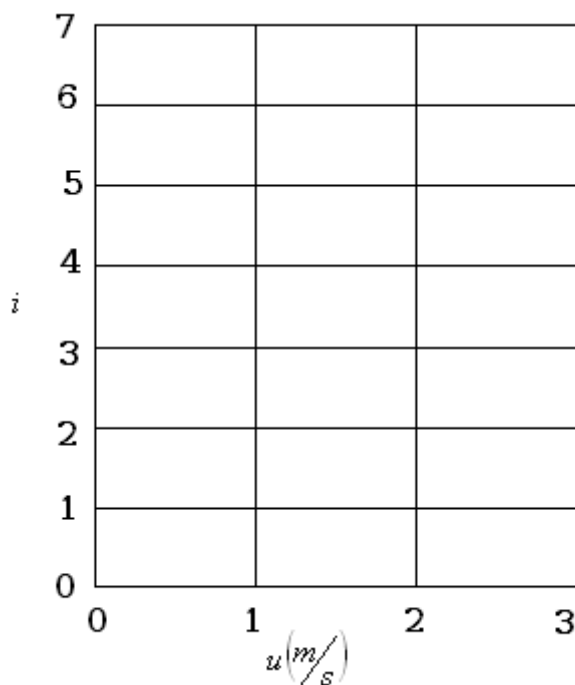


شکل (۳): ضریب ویسکوزیته آب بر حسب دما

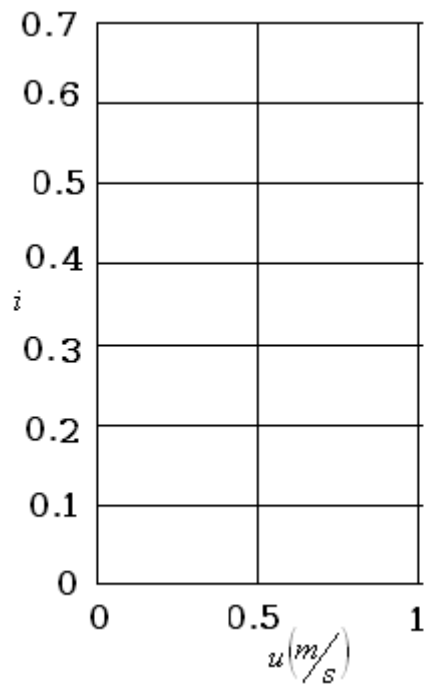
حال مقدار ضریب اصطکاک ( $f$ ) را از رابطه داری ویسباخ (۴) و بلازیوس (۵) بدست آورده و در جدول (۳) یادداشت نمایید. این مقادیر  $f$  را مقایسه کنید. مقادیر  $f$  بدست آمده از رابطه داری ویسباخ را بر حسب عدد رینولدز رسم نمایید. چگونه می توان به کمک این نمودار زبری لوله را تعیین کرد؟ همچنین مقادیر  $f$  بدست آمده از رابطه بلازیوس را در همان مقیاس رسم نمایید. این تغییرات کدام نمودار مطالعه شده در مکانیک سیالات را به یاد شما می آورد؟.

جدول (۳): مقایسه مقدار ضریب  $f$

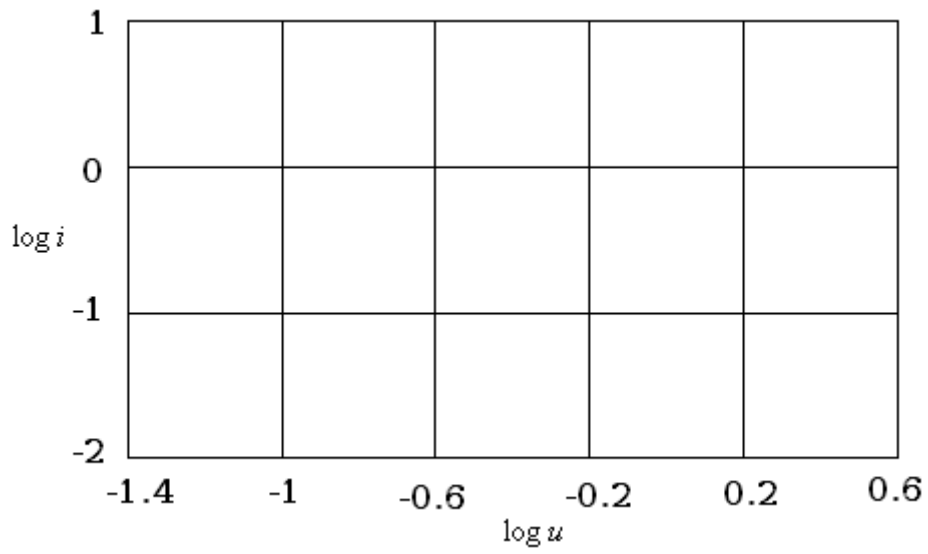
$u(m/s)$	$i$	$u^2/2gD$	Re	$f$ رابطه داری ویسباخ	$f$ رابطه بلازیوس



مقیاس (۱)



مقياس (٢)



مقياس (٣)

## افت انرژی جزئی (موضعی)

### هدف آزمایش :

هدف از این آزمایش تعیین افت انرژی ناشی از اجزای یک سیستم لوله کشی (مانند زانویی ، شیر و تغییرات ناگهانی سطح مقطع لوله) و رابطه ای بین افت انرژی و سرعت می باشد. بررسی تغییرات ضریب اصطکاک با عدد رینولدز ، ضریب افت با انرژی جنبشی و تاثیر شعاع انحنای یک خم در مقدار افت انرژی محلی آن از مسائلی است که در این آزمایش مورد نظر می باشد.

### تئوری آزمایش :

افت انرژی کلی در یک سیستم لوله کشی ناشی از دو عامل است. یکی افت انرژی طولی که در اثر مقاومت نیروی چسبندگی سیال به وجود می آید و دیگری افت انرژی در اثر عواملی از قبیل زانویی ها ، شیرها و یا تغییرات سطح مقطع مسیر می باشد. حال هر کدام از این افتها را به طور جداگانه بررسی می کنیم.

**الف- افت انرژی طولی:** افت انرژی طولی در لوله ای مستقیم به طول  $L$  و قطر ثابت  $d$  از رابطه (۱) بدست می آید.

$$\Delta h_f = f \frac{L}{d} \frac{u^2}{2g} \quad (1)$$

که در آن  $f$  در محدوده آزمایش تقریباً ثابت و بدون بعد است. مقدار  $f$  (ضریب اصطکاک) تابعی از عدد رینولدز جریان و زبری نسبی لوله می باشد. در لوله های نسبتاً صاف و جریانی با عدد رینولدز بین ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ مقدار  $f$  را می توان از رابطه بلازیوس (۲) بدست آورد.

$$f = \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}} \quad (2)$$

**ب- افت انرژی در اثر تغییر ناگهانی سطح مقطع لوله:** مطابق شکل (الف-۱) و (ب-۱) جریان آب را در داخل لوله ای که سطح مقطع آن به طور ناگهانی تغییر می کند در نظر بگیرید. اگر افت انرژی در طول  $L$  از لوله برابر برابر با  $\Delta h_f$  باشد و از افت انرژی طولی و انرژی جنبشی در قسمت با قطر بزرگتر لوله صرفنظر شود با نوشتن رابطه برنولی بین دو پیزومتر نشان داده شده می توان افت جزئی هر قسمت را از روابط (۳) و (۴) به دست آورد.

$$\Delta h_l = \Delta h' + \frac{u^2}{2g} - \Delta h_f \left( \frac{x}{L} \right) \quad (3) \quad \text{برای انبساط ناگهانی}$$

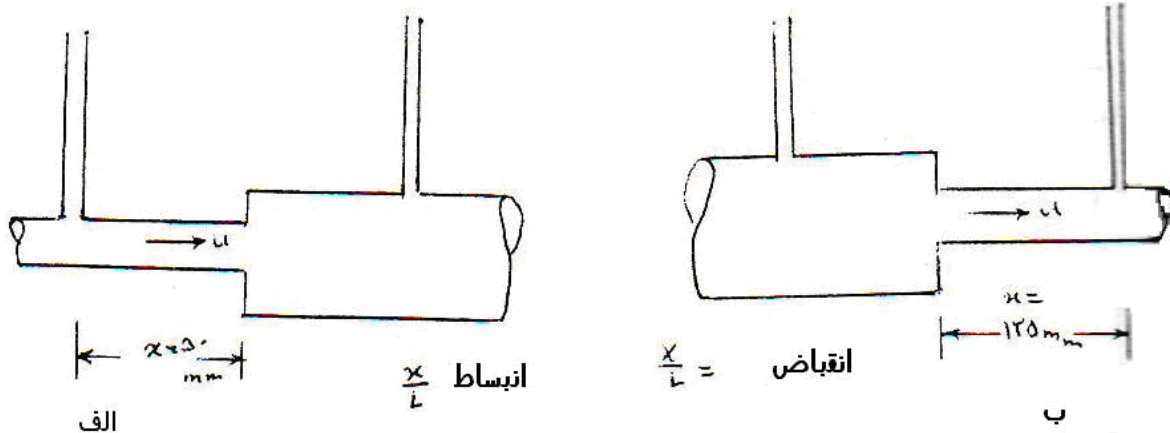
$$\Delta h_f = \Delta h' - \frac{u^2}{2g} - \Delta h_f \left( \frac{x}{L} \right) \quad (4) \quad \text{برای انقباض ناگهانی}$$

در روابط فوق  $u$  سرعت جریان در قسمت باریکتر لوله و  $\Delta h'$  اختلاف ارتفاع پیزومترهای ورودی و خروجی می باشند.

در عمل افت انرژی جزئی را به صورت رابطه (۵) نشان می دهند.

$$\Delta h_i = K \frac{u^2}{2g} \quad (5)$$

که در آن  $K$  ضریب افت نامیده می شود.



شکل (۱): انبساط و انقباض ناگهانی در لوله

ج- افت انرژی در زانویی ها و خمها: اگر در دو نقطه از مسیر لوله که بین آن دو نقطه زانویی یا خم وجود داشته باشد دو پیزومتر نصب شود اختلاف ارتفاعی که توسط دو پیزومتر مشخص می شود مربوط به دو عامل است. یکی افت انرژی طولی و دیگری افت جزئی در اثر زانویی. اگر افت انرژی طولی بین دو نقطه  $\Delta h_f$  و افت جزئی  $\Delta h_b$  و اختلاف ارتفاع پیزومترها  $\Delta h'$  باشد رابطه (۶) بین دو نقطه برقرار است

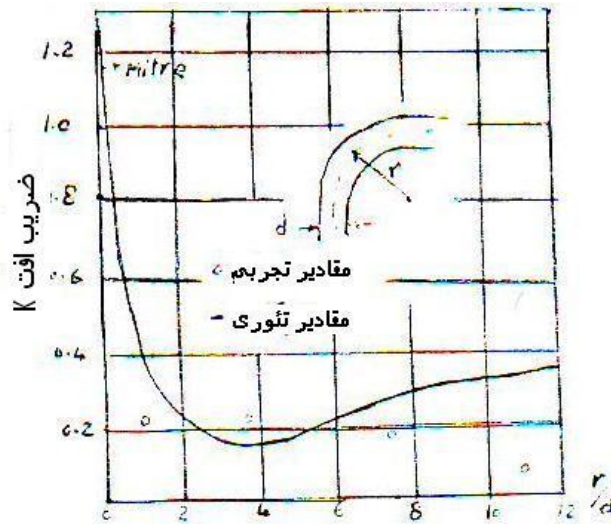
$$\Delta h_b = \Delta h' - \Delta h_f \quad (6)$$

در عمل افت انرژی جزئی زانویی را از رابطه (۷) به دست می آورند.

$$\Delta h_b = K \frac{u^2}{2g} \quad (7)$$

که در آن  $K$  ضریب افت و ثابت می باشد. مقدار ضریب افت زانویی یا خم به نسبت شعاع انحنای زانویی ( $r$ ) و قطر زانویی ( $d$ ) بستگی دارد. شکل (۲) تغییرات ضریب افت ( $K$ ) را بر حسب نسبت  $\frac{r}{d}$  نشان

می دهد.



شکل (۲): تغییرات  $K$  برحسب  $\frac{r}{d}$

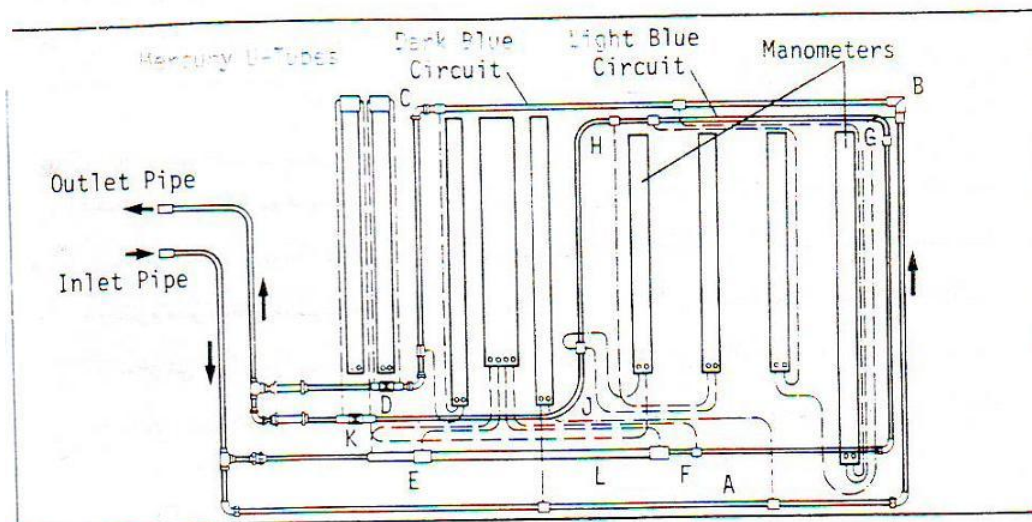
د- افت انرژی در شیرها: افت انرژی جزیی در شیرها بستگی به نوع ساختمان آن شیر و میزان بازشدگی دارد. به طور کلی تحلیل و محاسبات تئوریک برای تعیین این افتها وجود ندارد. اگر در قبل و بعد از شیر پیژومترهایی نصب شود می توان افت انرژی جزیی شیرها را به طور تجربی تعیین نمود. مقدار تجربی افت جزیی شیرها از رابطه (۸) تبعیت می کند.

$$\Delta h_l = K \frac{u^2}{2g} \quad (۸)$$

که در آن  $K$  ضریب افت می باشد. مقدار  $K$  در شیرها ثابت نمی باشد. بلکه به نوع شیر و مقدار باز بودن آن بستگی دارد.

### شرح دستگاه و روش آزمایش :

دستگاه مورد آزمایش از دو مدار هیدرولیکی جداگانه یکی به رنگ آبی روشن و دیگری آبی تیره تشکیل شده است. در هر یک از مدارها تعدادی اتصالات قرار داده شده است. شکل (۳) نشان دهنده تابلویی است که مدارات در روی آن نصب شده است.



شکل (۳): دستگاه اندازه گیری افت موضعی

مشخصات و ابعاد مدارها در جدول (۱) درج گردیده است.

مدار آبی تیره روی تابلو شامل قسمتهای زیر است.

- ۱- شیر دریچه ای (Gate valve)
- ۲- زانویی ۹۰ درجه استاندارد
- ۳- زانوی ۹۰ درجه راستگوشه (Mitre)
- ۴- لوله مستقیم به طول ۹۱۴ میلیمتر و قطر ۱۳/۶ میلیمتر

جدول (۱): مشخصات و ابعاد لوله ها در روی تابلوی دستگاه

مانومتر جیوه ای	شیر دریچه ای Gate valve	D
۱-۲	زانوی ۹۰ درجه استاندارد	C
۳-۴	لوله مستقیم به قطر ۱۳/۶mm و به طول ۹۱۴/۴mm	A
۵-۶	زانوی ۹۰ درجه راستگوشه Mitre	B
مانومتر جیوه ای	شیر کروی Globe valve	K
۷-۸	انبساط ناگهانی از قطر ۱۳/۶mm به ۲۶/۲mm	E
۹-۱۰	انقباض ناگهانی از قطر ۲۶/۲mm به ۱۳/۶mm	F
۱۱-۱۲	خم ۹۰ درجه به شعاع انحنا ۱۵۰mm	J
۱۳-۱۴	خم ۹۰ درجه به شعاع انحنا ۱۰۰mm	H
۱۵-۱۶	خم ۹۰ درجه به شعاع انحنا ۵۰mm	G



مدار به رنگ آبی روشن شامل قسمت‌های زیر است :

۵- شیر کروی (Globe valve)

۶- انبساط ناگهانی

۷- انقباض ناگهانی

۸- خمهای ۹۰ درجه به شعاع انحنای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر

در تمام اتصالات فوق (به جز دو نوع شیر) افت فشار توسط یک جفت پیزومتر تحت فشار نسبی هوا اندازه گیری می شود. در حالیکه تعیین افت فشار در شیرها توسط مانومتر تفاضلی جیوه ای تعیین می شود. از آزمایش قبل یادآوری می شود که اگر مانومتر تفاضلی جیوه ای اختلاف ارتفاع  $\Delta h'$  را نشان دهد برای تبدیل آن بر حسب ستون آب می بایست مقدار  $\Delta h'$  را در عدد  $۱۲/۶$  ضرب نمود. بدست آوردن این عدد به عهده دانشجویان است.

قبل از شروع آزمایش می بایست دستگاه را تنظیم نموده و سپس آزمایش را در دو مرحله انجام دهید. در مرحله اول شیر کروی را بسته و شیر دریچه ای را به طور کامل باز نموده تا حداکثر جریان آب در مدار به رنگ آبی تیره برقرار شود. حال توسط قرائت پیزومترها می توان افت انرژی کلی و سپس افت انرژی جزئی هر اتصال موجود در مدار فوق را تعیین نمود.

برای بررسی تغییرات افت انرژی نسبت به انرژی جنبشی آب جاری در لوله به تدریج شیر دریچه ای را ببندید و هر بار سطوح آب در پیزومترها را یادداشت نموده و گذر آب را اندازه بگیرید. این عمل را حدوداً ۱۰ بار تکرار نمایید. در طول مراحل فوق دمای متوسط آب را اندازه گیری نمایید. بعد از انجام قدمهای فوق شیر دریچه را کاملاً بسته و مرحله دوم آزمایش را به صورت زیر انجام دهید.

در مرحله دوم آزمایش، شیر کروی را کاملاً باز کنید و سپس توسط یادداشت نمودن پیزومترها و اندازه گیری گذر آب می توان افت انرژی کلی و افت انرژی جزئی هر اتصال موجود در مدار آبی روشن را تعیین نمود.

برای بررسی تغییرات افت انرژی جزئی نسبت به انرژی جنبشی آب جاری در لوله به تدریج شیر کروی را ببندید و هر بار سطوح آب در پیزومترها را یادداشت نموده و گذر آب را اندازه گیری نمایید. این عمل را حدوداً ۱۰ بار تکرار نمایید.

در خاتمه آزمایش دو شیر را کاملاً بسته و شیر خروجی پمپ را هم ببندید و سپس پمپ را خاموش نمایید. توجه داشته باشید که قبل از خاموش کردن پمپ بستن هر دو شیر ضروری است.

### نتایج و محاسبات

نتایج حاصل از آزمایش در مرحله اول را در جدول (۲) و نتایج حاصل از مرحله دوم را در جدول (۳) یادداشت نمایید. سپس با محاسبات جداول فوق را تکمیل نمایید. حال محاسبات مربوط به افت انرژی در هر قسمت از سیستم لوله کشی را مطابق ذیل انجام می دهیم.

**الف- محاسبات افت انرژی در لوله مستقیم:** به کمک جدول (۲) مقدار  $\log Q$  و  $\log \Delta h_f$  را در سیستم واحد CGS برای لوله مستقیم تعیین کرده و در مقیاس (۱) رسم نمایید. اگر  $\Delta h_f$  متناسب با  $Q^n$  باشد مقدار  $n$  را از نمودار رسم شده در مقیاس (۱) به دست آورید.

جدول (۲): نتایج برای مدار آبی تیره

۴۴

Water temperature: \_\_\_\_\_

No	M kg	t s	V m/s	$\frac{V^2}{2g}$ mm	Manometer readings and differential heads (mm water)						U-tube (mm Hg)									
					ELBOW BEND		STRAIGHT PIPE		MITRE BEND		GATE VALVE		$\Delta H$							
					1	2	$\Delta h'$	3	4	$\Delta h_f$	5	6		$\Delta h'$	$h_1$	$h_2$				
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				

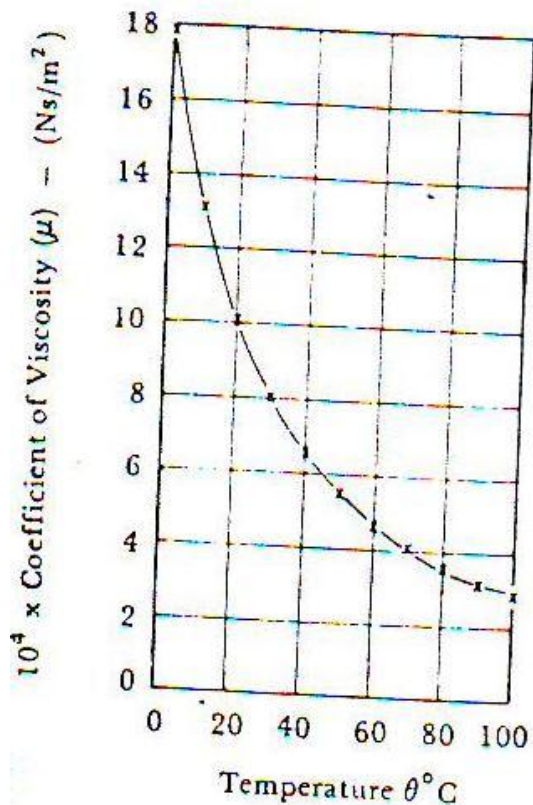
جدول (۳): نتایج برای مدار آبی روشن

Water temperatures: \_\_\_\_\_

No	M kg	t s	V m/s	$\frac{V^2}{2g}$ mm	Manometer readings and differential heads (mm water)												U-tube (mm Hg)						
					EXPANSION			CONTRACTION			BEND J		BEND H			BEND G		GLOBE VALVE					
					7	8	$\Delta h'$	9	10	$\Delta h'$	11	12	$\Delta h'$	13	14	$\Delta h'$		15	16	$\Delta h'$	$h_1$	$h_2$	$\Delta H$
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							

جدول (۳) TABLE 3 RESULTS FOR LIGHT BLUE CIRCUIT

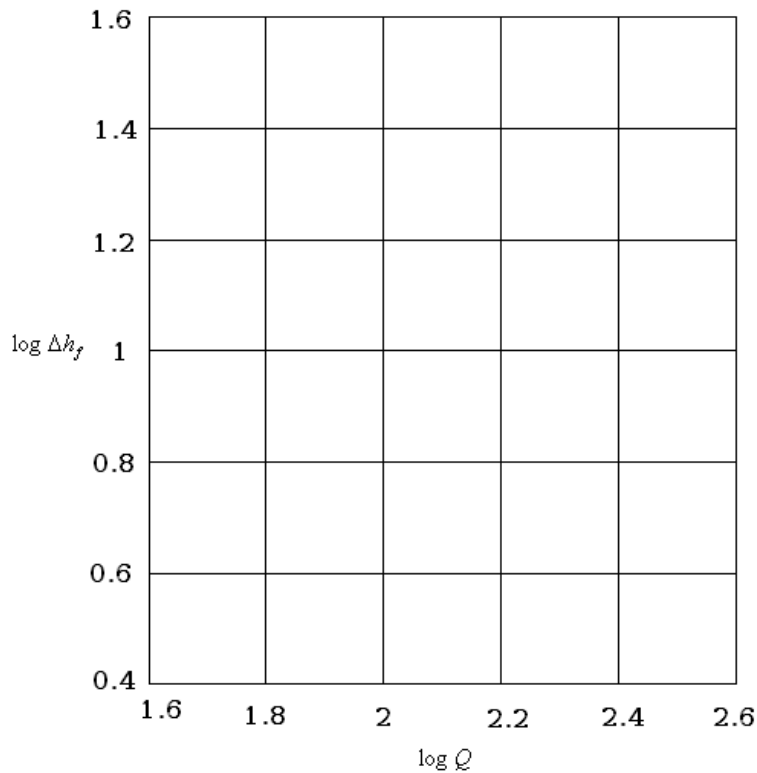
به کمک شکل (۴) مقدار ضریب ویسکوزیته آب را در دمای متوسط آزمایش تعیین نمایید. حال با داشتن سرعت و افت انرژی طولی در جدول (۲) مقدار عدد رینولدز و ضریب اصطکاک را از رابطه (۱) برای هر مرحله به دست آورده و سپس جدول (۴) را تکمیل نمایید.



شکل (۴): ویسکوزیته آب بر حسب دما

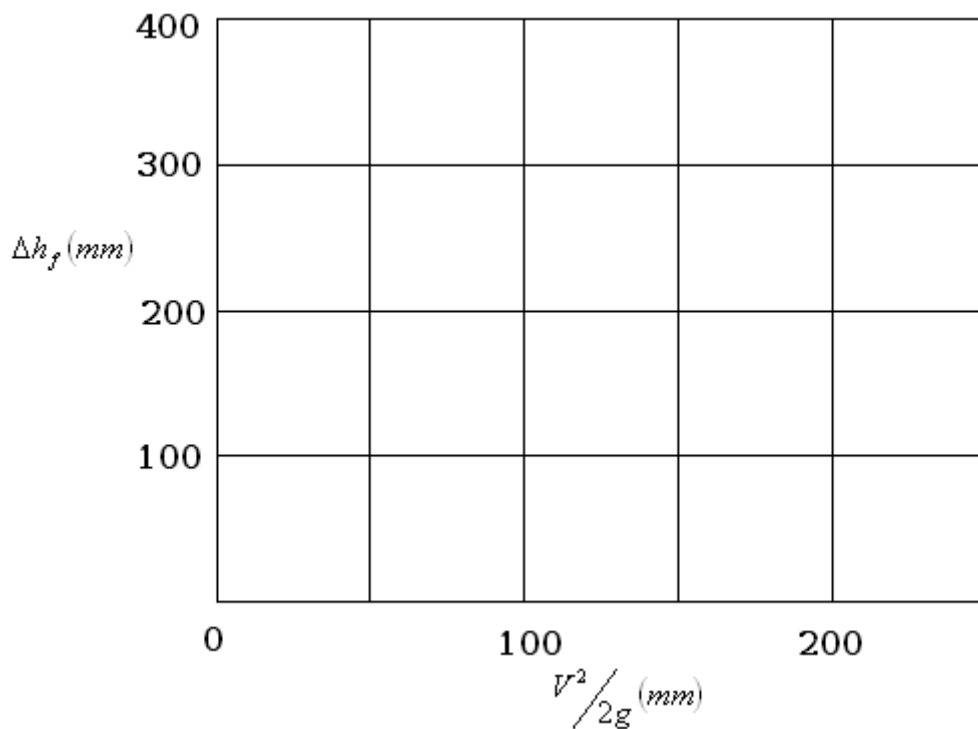
جدول (۴): مقادیر ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز

شماره	$\Delta h_f$ (mm)	$V$ (m/s)	$V^2/2g$ (mm)	Re	$f$
۱					
۲					
۳					
۴					
۵					
۶					
۷					
۸					
۹					
۱۰					

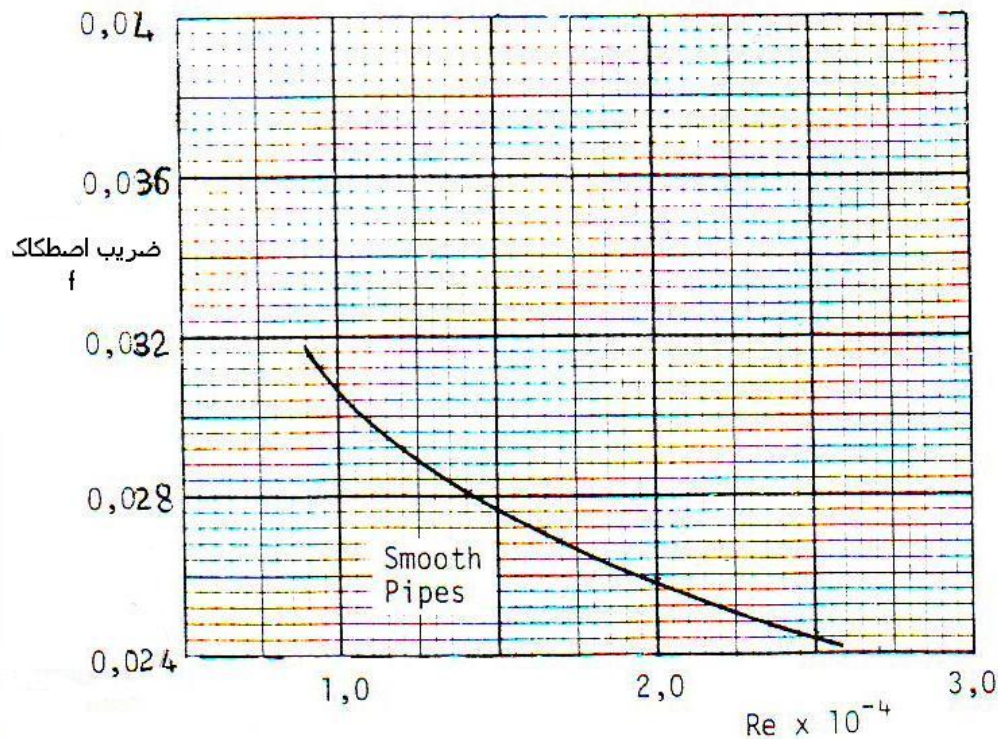


مقیاس (۱):  $\log \Delta h_f$  بر حسب  $\log Q$

به کمک جدول (۴) تغییرات افت انرژی طولی بر حسب انرژی جنبشی را در مقیاس (۲) و تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز (شاخه ای از دیاگرام مودی) را در مقیاس (۳) رسم نمایید. نمودار رسم شده در مقیاس (۳) مربوط به لوله های صاف (Smooth) است که از رابطه بلازیوس رسم شده است.



مقیاس (۲): مقادیر افت انرژی بر حسب انرژی جنبشی



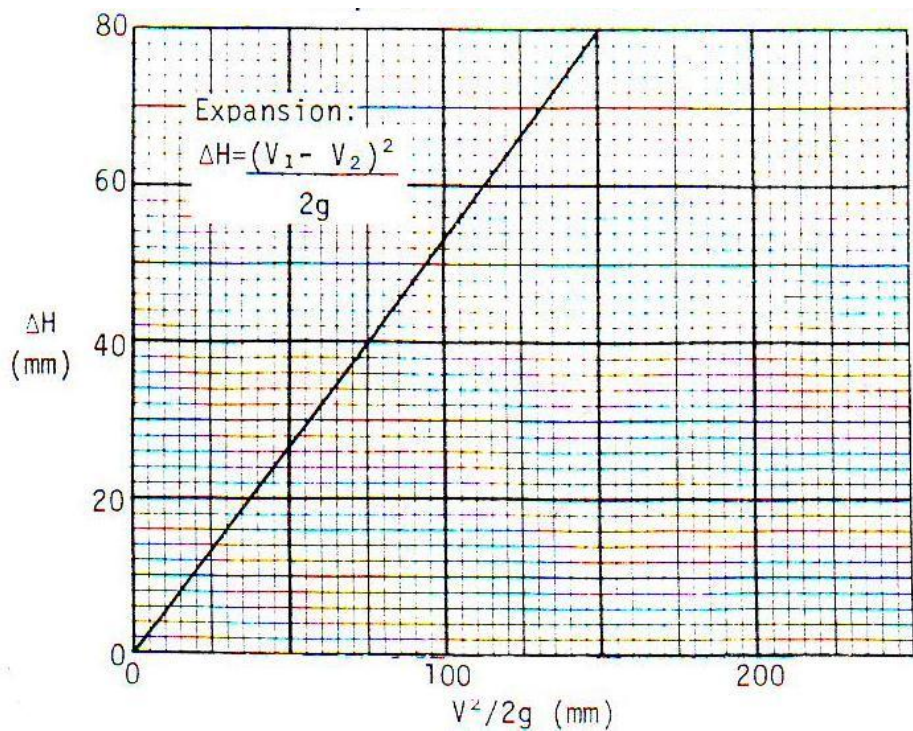
مقیاس (۳): تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز

ب- افت انرژی جزیی در اثر تغییر ناگهانی سطح مقطع: به کمک جدول (۳) مربوط به مدار آبی روشن مقادیر انرژی جنبشی در هر مرحله را وارد جدول (۵) نموده و به کمک نمودار مقیاس (۲) مقدار افت انرژی طولی متناسب با این انرژی جنبشی را به دست آورده و در جدول (۵) یادداشت نمایید. سپس به کمک روابط (۳) و (۴) این جدول را کامل نمایید.

افت انرژی انبساط و انقباض ناگهانی لوله را بر حسب انرژی جنبشی سیال جاری در مقیاس (۴) رسم نموده و به کمک این دو نمودار مقدار ضریب افت متوسط ( $K$ ) را برای هر کدام به دست آورده و در زیر جدول (۵) یادداشت نمایید. مقادیر  $X$  در شکل (۱) نشان داده شده است.

جدول (۵) محاسبات انبساط و انقباض ناگهانی

		$x/L =$ انبساط ناگهانی			$x/L =$ انقباض ناگهانی		
$\frac{V^2}{2g}$ (mm)	$\Delta h_f$ (mm) مقیاس $\Gamma$	$\Delta h'$ (mm)	$\Delta h_f (x/L)$ (mm)	$\Delta h_i$ (mm)	$\Delta h'$ (mm)	$\Delta h_f (x/L)$ (mm)	$\Delta h_i$ (mm)
		K=			K=		



مقیاس (۴): تغییرات افت بر حسب انرژی جنبشی برای انبساط و انقباض ناگهانی

ج- افت انرژی جزیی برای زانویی ها: به کمک جدول اصلی (۲) مقادیر انرژی جنبشی ، افت انرژی طولی ( $\Delta h_f$ ) و افت های ( $\Delta h'$ ) زانویی راستگوشه و استاندارد را وارد جدول (۶) نموده و همچنین به

کمک جدول اصلی (۳) و نمودار رسم شده در مقیاس (۲) مقادیر انرژی جنبشی، افت انرژی طولی و افت های ( $\Delta h'$ ) خمها را در جدول (۶) وارد نمایید. حال به کمک رابطه (۶) افت جزیی هر قست را در هر مرحله محاسبه نموده و جدول (۶) را کامل نمایید. لازم به ذکر است که فواصل پیزومترهای ورودی و خروجی هر زانویی یا خم ۹۱۴ میلیمتر می باشد. لذا افت طولی آن ( $\Delta h_f$ ) برابر با افت طولی لوله مستقیم به طول ۹۱۴ میلیمتر است.

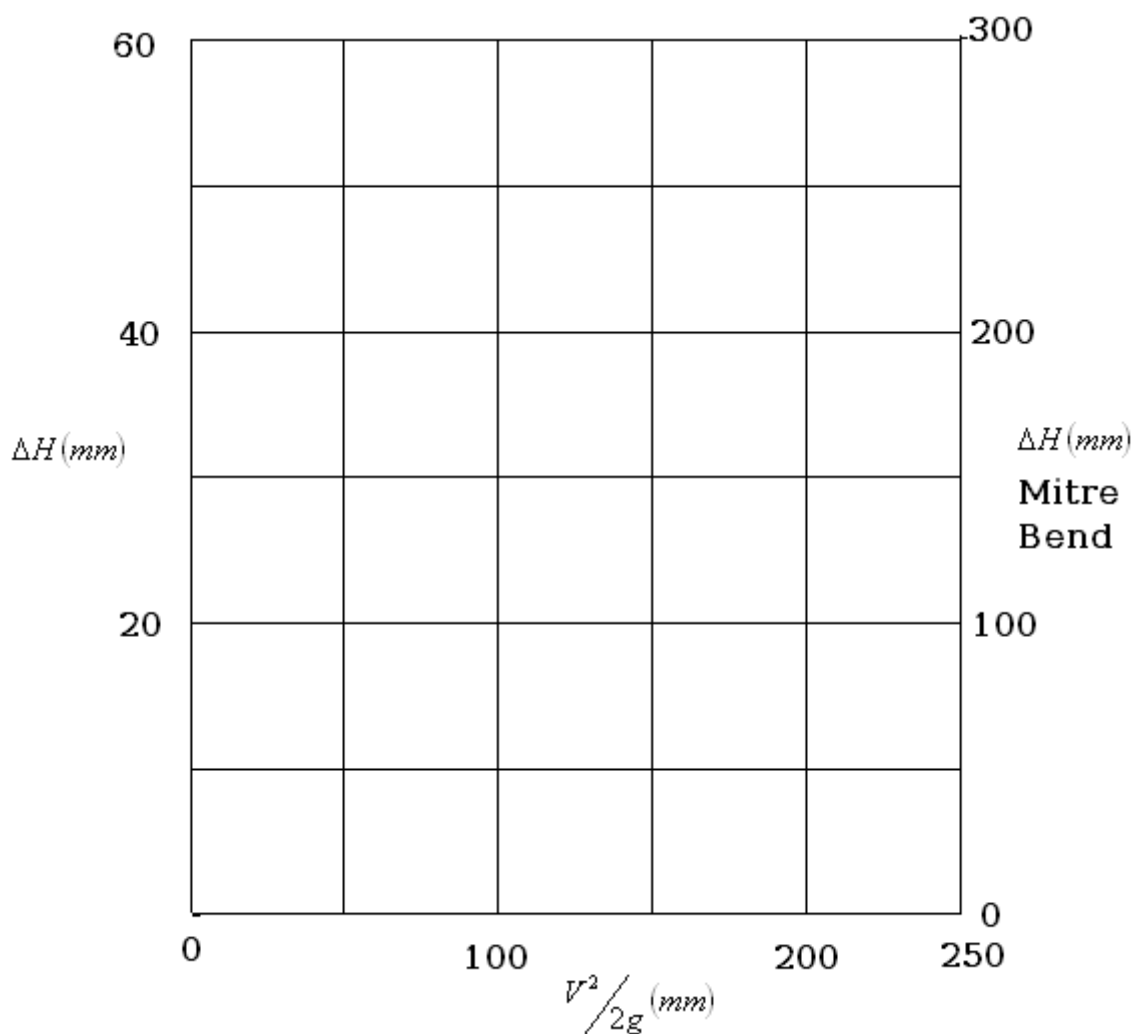
جدول (۶) محاسبات افت در زانویی ها و خمها

مدار آبی تیره						Smooth Bends مدار آبی روشن							
$\frac{V^2}{2g}$	$\Delta h_f$	Mitre		Elbow		$\frac{V^2}{2g}$	$\Delta h_f$ مقیاس r	$R/d = 3.71$		$R/d = 7.42$		$R/d = 11.1$	
		$\Delta h'$	$\Delta h_b$	$\Delta h'$	$\Delta h_b$			$\Delta h'$	$\Delta h_b$	$\Delta h'$	$\Delta h_b$	$\Delta h'$	$\Delta h_b$
		K=		K=				K=		K=		K=	



به کمک جدول (۶) تغییرات افت انرژی جزئی هر زانویی را بر حسب انرژی جنبشی در مقیاس (۵) رسم نموده و سپس به کمک این ۵ نمودار مقادیر ضریب افت متوسط هر قسمت را به دست آورده و در زیر جدول (۶) یادداشت نمایید. تغییرات ضریب افت هر قسمت را بر حسب نسبت  $\frac{r}{d}$  در مقیاس (۶) رسم نمایید. این نمودار تجربی را با شکل (۲) مقایسه کنید.

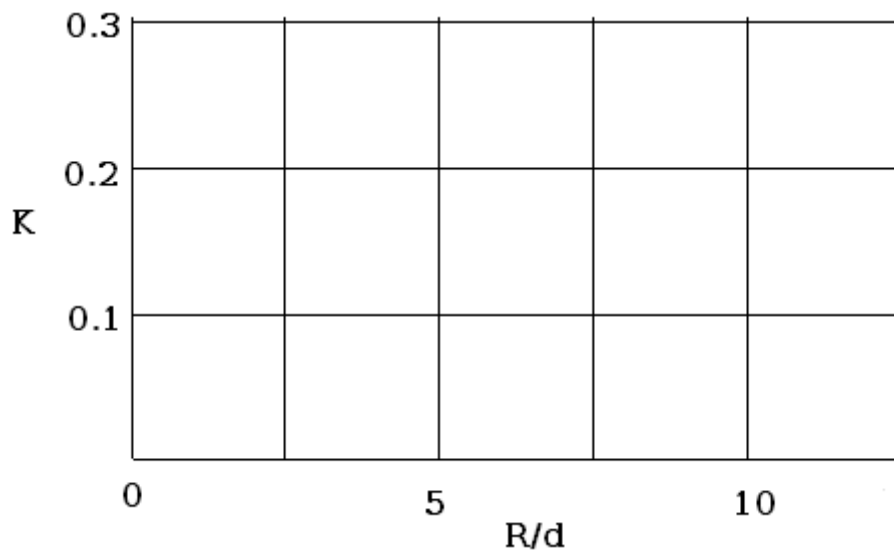
د- افت انرژی موضعی در شیرها: به کمک جداول (۲) و (۳) و رابطه (۸) جدول (۷) را تکمیل نمایید. سپس تغییرات ضریب افت ( $K$ ) را بر حسب نسبت سرعت به سرعت حداکثر ( $\frac{V}{V_{\max}}$ ) در مقیاس (۷) رسم نمایید.



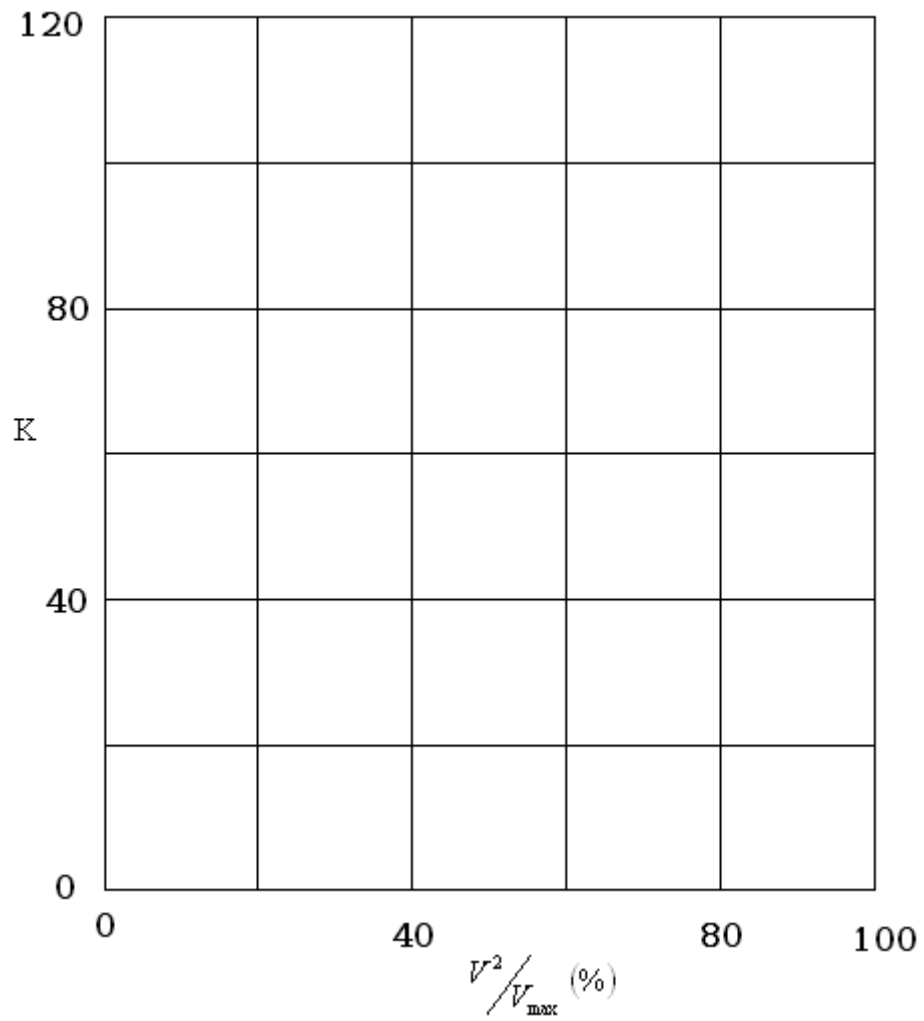
مقیاس (۵): افت هد بر حسب انرژی جنبشی ورودی برای خمها

جدول (۷) : محاسبات ضریب افت در شیرها

Gate valve					Globe valve				
$V$ ( $m/s$ )	$\frac{V^2}{2g}$ ( $mm$ )	$\Delta H$ ( $mm$ )	$V/V_{max}$ %	$K$	$V$ ( $m/s$ )	$\frac{V^2}{2g}$ ( $mm$ )	$\Delta H$ ( $mm$ )	$V/V_{max}$ %	$K$



مقیاس (۶): تغییرات ضریب افت بر حسب  $r/d$  در خمها



مقیاس (۷): تغییرات ضریب افت بر حسب بازشدگی شیرها

## نیروی برخورد جت آب

### هدف آزمایش :

هدف از این آزمایش اندازه گیری نیروی حاصل از برخورد یک جت آب به یک سطح صاف یا نیمکره به طریقه تجربی و مقایسه این نیرو با تغییرات مقدار حرکت خطی جت آب نسبت به زمان می باشد.

### تئوری آزمایش :

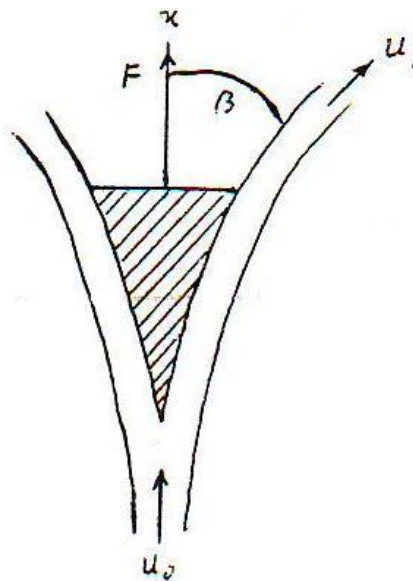
جت آب معمولاً برای ایجاد کار مکانیکی مورد استفاده قرار می گیرد. یک نمونه آن برخورد جت آب به پره های چرخ پلتون است که نیروی حاصل از تغییرات مقدار حرکت خطی (مومنوم خطی) آب باعث به گردش در آمدن چرخ می شود.

وقتی که یک جت آب به مانعی برخورد کرده و امتداد سرعت آن تغییر می کند ، طبق رابطه مومنوم خطی نیرویی بر مانع اعمال می شود که در حالت دائمی بودن جریان و فرض اینکه تنها نیروی سطحی بر مانع اعمال شود این نیرو برابر با تغییرات مقدار حرکت خطی جریان نسبت به زمان با علامت مخالف می باشد.

$$\vec{F}_t = -\iint_{C.S} \vec{T}.dA = -\iint_{C.S} \vec{u}(\rho \vec{u}.d\vec{A}) \quad (1)$$

که در آن  $T$  نیروی سطحی دارد بر واحد سطح می باشد. اگر در حالت کلی مانعی را به شکل (۱) در نظر بگیریم که نسبت به محور  $x$  تقارن داشته باشد و همچنین جت آب با سرعت  $u_0$  به طرف بالا در حرکت بوده و بعد از برخورد مانع در امتداد زاویه  $\beta$  منحرف شود. در این حالت کاربرد رابطه (۱) برای یک حجم کنترل انتخابی در جهت  $x$  مقدار نیرویی اعمال شده را نتیجه می دهد که به صورت رابطه (۲) می باشد.

$$F_t = \dot{m}u_0 - \dot{m}u_1 \cos \beta = \dot{m}(u_0 - u_1 \cos \beta) \quad (2)$$



شکل (۱)

در حالتی که مانع به صورت یک سطح صاف و عمود بر امتداد سرعت باشد (شکل الف-۲) در این حالت مقدار زاویه انحراف ( $\beta$ ) امتداد سرعت برابر با  $90^\circ$  درجه می باشد و لذا معادله (۲) به صورت رابطه (۳) مورد استفاده قرار می گیرد.

$$F_t = \dot{m} u_0 \quad (۳)$$

در حالتی که مانع به صورت یک سطح نیمکره ای و عمود بر امتداد سرعت باشد (شکل ب-۲) مقدار زاویه انحراف ( $\beta$ ) امتداد سرعت برابر با  $180^\circ$  درجه خواهد شد. در چنین حالتی اگر از تغییرات سرعت صرفنظر شود نیروی موثر بر مانع از رابطه (۴) به دست می آید.

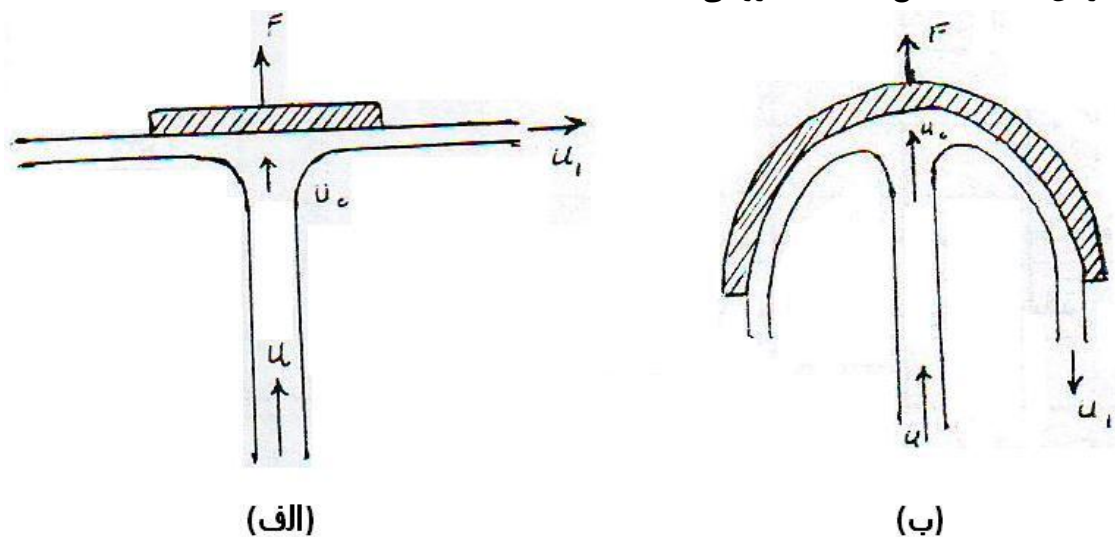
$$F_t = 2\dot{m} u_0 \quad (۴)$$

باید توجه داشت که اندازه گیری سرعت برخورد جت آب به مانع عملاً مشکل است و لیکن با داشتن دبی جریان و سطح مقطعی از جت آب می توان سرعت جت را در آن مقطع تعیین نموده و با داشتن فاصله بین مقطع معلوم و مانع سرعت برخورد جت را تعیین نمود.

اگر  $u$  سرعت خروجی جت آب از لوله باشد،  $u_0$  سرعت برخورد جت با مانع به علت ثقل سیال کمتر از  $u$  می شود لذا  $u_0$  را می توان از رابطه (۵) تعیین نمود.

$$u_0^2 = u^2 - 2gS \quad (۵)$$

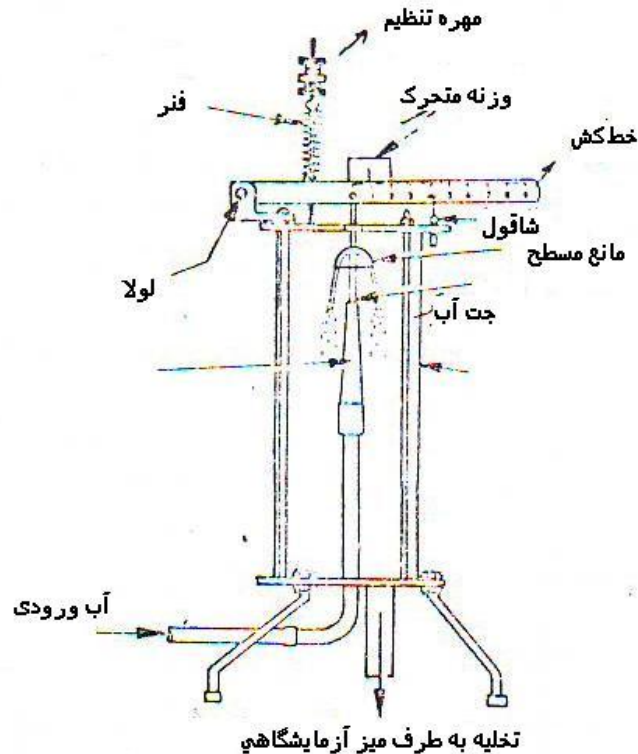
که در آن  $S$  فاصله مانع تا دهانه خروجی آب است.



شکل (۲)

شرح دستگاه و روش آزمایش :

وسیله مورد آزمایش در شکل (۳) نشان داده شده است. مانع مسطح یا نیمکره ای در امتداد عمود بر مسیر جت در داخل ظرفی استوانه ای و شفاف قرار می گیرد. جت آب بعد از برخورد با مانع تعادل آن را بر هم می زند.

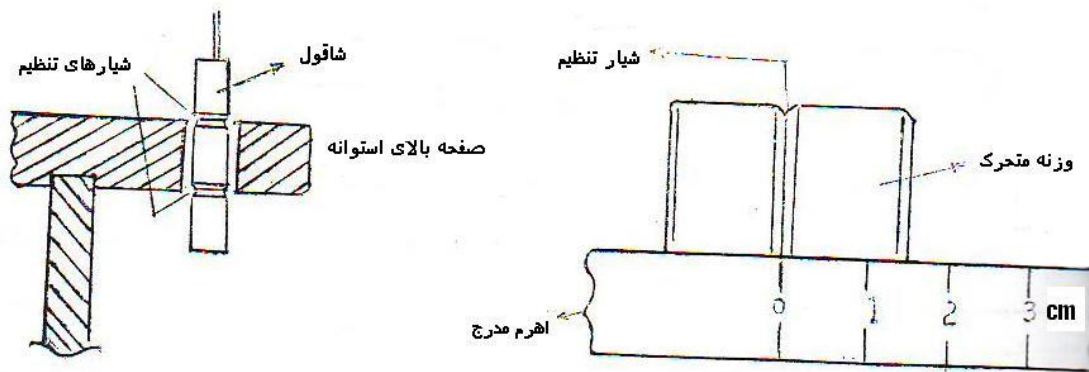


شکل (۳): دستگاه آزمایش ضربه جت

توسط جابجا کردن وزنه ای در روی یک اهرم متصل به مانع می توان مجدداً مانع را در حالت اولیه متعادل نمود. تعیین وضعیت تعادل توسط یک شاقول متصل به اهرم معلوم می شود. تعدادی از مشخصات مورد لزوم دستگاه جهت محاسبات به قرار زیر است.

- ۱- جرم وزنه متحرک روی اهرم ۶۰۰ گرم
- ۲- قطر دهانه شیپوره ۱۰ میلیمتر
- ۳- فاصله مرکز مانع تا نقطه اتکای اهرم (لوله) ۱۵۰ میلیمتر
- ۴- فاصله مانع تا دهانه شیپوره (S) ۳۵ میلیمتر

قبل از شروع آزمایش می بایست با قرار دادن شیار وزنه متحرک روی فاصله صفر با مهره تنظیم بالای فنر اهرم را با شاقول تراز نمود. سپس آزمایش را در دو مرحله یک بار با مانع مسطح و بار دیگر با مانع نیمکره ای انجام داد. تعیین وضعیت شاقول و شیار وزنه متحرک در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل (۴): وزنه و شاقول در وضعیت تعادل

بعد از تنظیم دستگاه و کامل باز نمودن شیر خروجی پمپ، جت آب با حداکثر گذر خود با مانع برخورد می کند و اهرم را از وضعیت تعادل اولیه خود خارج می کند. با جابجا کردن وزنه متحرک می توان مجدداً اهرم را در وضعیت اولیه قرار داد.

با یادداشت نمودن فاصله جابجا شدن وزنه متحرک و تعیین گذر آب توسط میز آزمایشگاهی، مقدار نیروی تجربی و تئوری موثر بر مانع محاسبه می شود. با کم کردن گذر آب و جابجا نمودن وزنه متحرک می توان این مرحله از آزمایش را برای حدوداً ۱۰ گذر مختلف انجام داد.

بعد از انجام آزمایش برای یک مانع شیر خروجی پمپ را بسته و مانع را از روی اهرم باز نموده و مانع دوم را به آن وصل می نماییم و مرحله دوم آزمایش را مطابق فوق انجام می دهیم.

### نتایج و محاسبات:

نتایج حاصل از دو مرحله آزمایش را که شامل تعیین گذر آب (مقدار جرم آب جمع شده و زمان آن) و تغییر مکان وزنه متحرک است در دو جدول جداگانه مطابق جدول (۱) یادداشت نمایید.

جدول (۱): محاسبات نیروی تجربی و تئوری موثر بر مانع

$M$ kg	$t$ sec	$\Delta x$ m	$\dot{m}$ kg/s	$u$ m/s	$u_0$ m/s	$\dot{m}u_0$ N	$F_e$ N	$F_t$ N

با داشتن گذر و سطح مقطع شیبوره ، سرعت خروجی آب ( $u$ ) از شیبوره به دست آمده و به کمک رابطه (۵) سرعت برخورد جت آب با مانع ( $u_0$ ) محاسبه می گردد. حال گذر مقدار حرکت ( $\dot{m}u_0$ ) برای هر مرحله قابل محاسبه است. به کمک روابط (۳) و (۴) نیروی تئوری ( $F_t$ ) موثر بر هر مانع را حساب نمایید. با توجه به مشخصات دستگاه از قبیل جرم وزنه متحرک و فواصل اتصالات نیروی تجربی ( $F_e$ ) موثر بر مانع را می توان از رابطه (۶) به دست آورد.

$$F_e = 4g\Delta x \quad (۶)$$

در رابطه (۶) مقدار  $g$  در سیستم متریک (۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه) و  $\Delta x$  جابجایی وزنه متحرک بر حسب متر است. با توجه به واحدهای فوق مقدار نیروی تجربی موثر بر حسب نیوتن به دست خواهد آمد. مقادیر نیروی تجربی ( $F_e$ ) روی هر مانع را بر حسب نیروی تئوری ( $F_t$ ) در روی مقیاس (۱) و (۲) به طور جداگانه رسم نمایید. حال به سوالات زیر پاسخ دهید.

مقادیر تجربی و تئوری نیروی موثر بر هر مانع را با هم مقایسه نمایید. علل اختلاف را مقایسه کنید.

اگر تغییرات رسم شده  $F_e$  بر حسب  $F_t$  از مبدا نگذرد چه دلیلی برای آن دارید.

نقش نیروهای اصطکاکی را در هر مانع بررسی نمایید.

رابطه (۶) را ثابت نمایید.


Momentum Flux  $\dot{m}u_0$

مقیاس (۱) و (۲)



## ضربه قوچ و خیز آب

### هدف آزمایش :

هدف از این آزمایش بررسی پدیده ضربه قوچ در اثر بستن سریع یک شیر در مسیر جریان و چگونگی استفاده از تانک خیز آب روباز (مخزن تعادل) جهت کاهش اثرات ضربه قوچ و بررسی نوسانات سطح آب در این مخزن می باشد.

### تئوری آزمایش :

در اثر بستن شیری در پایین دست جریان نقصانی در شدت جریان به وجود آمده که این خود باعث کاهش انرژی جنبشی سیال می شود. این کاهش انرژی جنبشی به صورت افزایش فشاری در خط لوله ظاهر می شود که گاهی برای خط لوله اثرات تخریبی دارد. مثلاً در خط لوله بزرگ ممکن است باعث ترکیدن لوله یا خسارت به شیرهای کنترل گردد. افزایش فشار ناشی از پدیده ضربه قوچ به صورت یک سری ضربانهای فشاری در طول لوله با سرعت صوت در محیط حرکت می کنند. گاهی همراه با این ضربانها صدا و ارتعاشی تولید می گردد. یکی از طرق جلوگیری اثرات افزایش فشار استفاده از تانک خیز آب (Surge Tank) یا مخزن تعادل می باشد. در نیروگاههای هیدرولیکی مخزن تعادل را تا حد امکان نزدیک به توپین نصب می کنند تا فشارهای هیدرولیکی ناشی از بستن یا باز کردن شیرهای توربین را خنثی کند.

نظر به اینکه ضریب اصطکاک ( $f$ ) در داخل مخزن تابعی از زمان است بررسی تئوری نوسانات سطح آب در مخزن تعادل مشکل است و لیکن اگر تغییرات سرعت خیلی زیاد نباشد مقدار ضریب اصطکاک را می توان مساوی مقدار آن در جریان متناظر پایدار فرض نمود. مساله خیز آب در مخزن تعادل و ضربه قوچ در لوله ها را به طور جداگانه تحلیل می نماییم.

**الف - خیز آب در مخزن تعادل:** برای بررسی نوسانات سطح آب در مخزن تعادل شکل (۱) را در نظر بگیرید. اگر در هر لحظه ای ( $t$ ) بعد از تغییر دبی حجمی از میان شیر انتهایی، مشخصه های جریان را به صورت زیر در نظر بگیریم:

$$V = \text{سرعت در لوله در لحظه } t$$

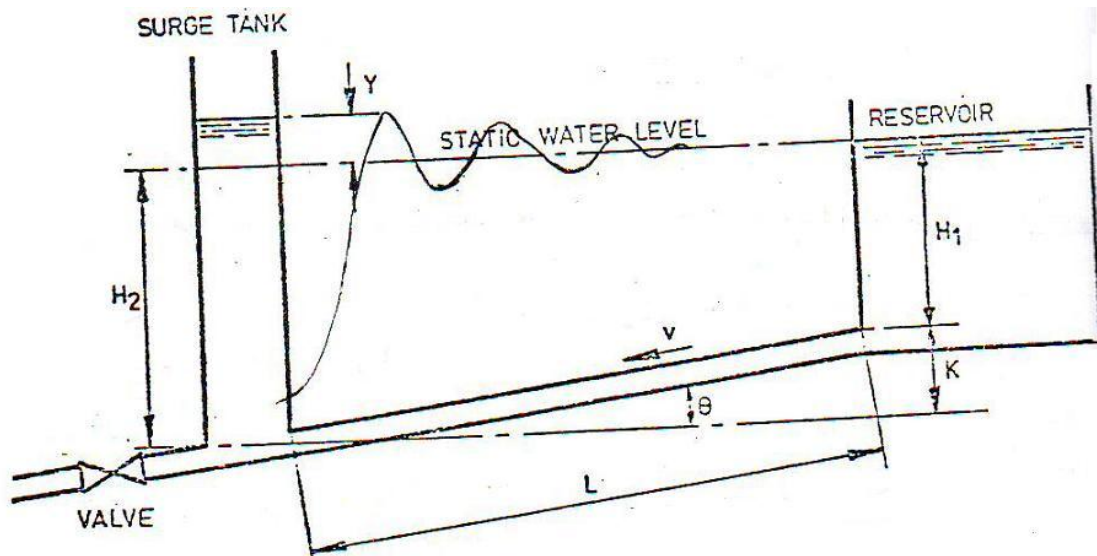
$$Y = \text{اختلاف ارتفاع سطح آب در مخزن تعادل با سطح آزاد آب}$$

$$q = \text{دبی حجمی جریان در لحظه } t$$

$$\frac{dY}{dt} = \text{سرعت بالا رفتن یا پایین آمدن سطح آب در مخزن تعادل}$$

قانون دوم نیوتن در جهت حرکت برای مقدار آب داخل لوله به صورت رابطه (۱) بیان می شود.

$$\rho a L \frac{dV}{dt} = \rho g a H_1 - \rho g a (H_2 + Y) + \rho g a L \sin \theta - \rho g a h_f \quad (1)$$



شکل (۱): خیز آب در مخزن تعادل

که در آن افت اصطکاکی ،  $a$  سطح مقطع و  $L$  طول لوله بین تانک تعادل و مخزن اصلی است. اگر  $\theta$  کوچک باشد  $K = L \sin \theta$  و  $H_2 = H_1 + K$  می شوند و بنابراین رابطه (۱) به صورت زیر ساده می شود.

$$\frac{L}{g} \frac{dV}{dt} + Y + h_f = 0 \quad (2)$$

از طرف دیگر در لحظه  $t$  طبق رابطه پیوستگی خواهیم داشت.

$$aV = A \frac{dY}{dt} + q \quad (3)$$

$$V = \frac{A}{a} \frac{dY}{dt} + \frac{q}{a} \quad (4)$$

که در آن  $A$  سطح مقطع مخزن تعادل است. با قرار دادن مقدار سرعت از رابطه اخیر در رابطه (۲) معادله نیوتن به صورت زیر ساده می شود.

$$\frac{L}{g} \frac{d}{dt} \left( \frac{A}{a} \frac{dY}{dt} + \frac{q}{a} \right) + Y + h_f = 0 \quad (5)$$

با توجه به اینکه گذر حجمی تابعی از زمان و  $h_f = f.u^n$  می باشند رابطه (۵) یک معادله کلی بوده و هیچ راه حل عمومی ندارد و لیکن اگر از اصطکاک صرف نظر شود و شیر سریعاً بسته شود ( $q=0$ ) رابطه (۵) به شکل ساده تری در آمده و حل تحلیلی آن امکان پذیر است. با این شرایط خواهیم داشت:

$$\frac{d^2 Y}{dt^2} + \frac{ga}{LA} Y = 0 \quad (6)$$

که این رابطه معادله حرکت سینوسی هارمونیک نامیرا (SHM) به شکل کلی زیر می باشد:

$$\frac{d^2 Y}{dt^2} + \Omega^2 Y = 0 \quad (7)$$

$$Y = Y_{\max} \sin \left( 2\pi \frac{t}{T} \right) \quad \text{یا}$$

و زمان نوسان چنین حرکتی به صورت زیر است:

$$T = \frac{2\pi}{\Omega} = 2\pi \sqrt{\frac{LA}{ga}} \quad (8)$$

همچنین ماکزیمم دامنه آن ( $Y_{\max}$ ) از رابطه  $u = Y_{\max} \Omega$  پیدا می شود که  $u$  سرعت پایین ترین سطح آب در مخزن تعادل و برابر با  $u = \frac{aV_0}{A}$  می باشد.

$$Y_{\max} = \frac{u}{\Omega} = V_0 \sqrt{\frac{La}{gA}} \quad (9)$$

همانطور که قبلا فرض شد از اثرات اصطکاک صرفنظر شده است. اگر بخواهیم اثرات اصطکاک را به حساب آوریم جوابهای تقریبی زیر برای حالتی که به طور ناگهانی شیر را می بندیم به کار می رود.

$$(Y_{\max})_{with\ friction} = Y_{\max} - 0.6h_f \quad (10-الف)$$

$$(Y_{\max})_{with\ friction} = Y_{\max} \left(1 - \frac{h_f}{3Y_{\max}}\right)^2 \quad (10-ب)$$

**ب- پدیده ضربه قوچ در لوله ها:**

اگر توسط بستن سریع یک شیر از حرکت مایع جاری در یک لوله جلوگیری شود، انرژی جنبشی مایع به شکل افزایش فشار تبدیل به انرژی پتانسیل می شود. در حقیقت انرژی جنبشی ناپدید شده به صورت افزایش انرژی کرنشی ظاهر می گردد. به عبارت ریاضی می توان رابطه (۱۱) را برای این پدیده در نظر گرفت.

$$0.5\rho \frac{\pi}{4} d^2 LV^2 = 0.5 \frac{p^2}{K} \frac{\pi}{4} d^2 L \quad (11)$$

که در آن  $d$  قطر و  $L$  طول لوله و  $V$  سرعت مایع و  $p$  موج فشاری انتشار یافته در لوله و  $K$  ضریب الاستیسیته یا عکس ضریب قابلیت تراکم مایع می باشد.  
با ساده نمودن رابطه (۱۱) خواهیم داشت :

$$p = V\sqrt{K\rho} \quad (12)$$

اگر لوله را صلب در نظر بگیریم مقدار  $\sqrt{K/\rho}$  را می توان برابر با سرعت صوت ( $C$ ) در محیط آبی داخل لوله در نظر گرفت و لذا رابطه (۱۲) به صورت زیر ساده می شود.

$$p = \rho VC \quad (13)$$

این افزایش فشار ناگهانی از شیر انتهایی لوله (که به صورت سریع عمل نمی کند) با سرعت صوت به سمت مخزن با پتانسیل ثابت انتقال می یابد و از آنجا منعکس شده و مجدداً به شیر انتهایی بر می گردد. موج به وجود آمده به نوبت بین مخزن آب و شیر حرکت می کند تا مستهلک گردد. اگر از قابلیت ارتجاعی لوله صرفنظر نشود سرعت صوت در محیط آبی لوله از رابطه (۱۴) قابل محاسبه است.

$$C = \sqrt{\frac{K}{\rho \left(1 + \frac{Kd}{tE}\right)}} \quad (14)$$

که  $d$  ،  $t$  و  $E$  به ترتیب قطر ، ضخامت و مدول یانگ لوله می باشند.

### شرح دستگاه و روش آزمایش :

دستگاه مورد آزمایش از یک مخزن ذخیره آب در زیر ، یک مخزن آب با ارتفاع ثابت ، دو مسیر جداگانه (یکی برای آزمایش مخزن تعادل و خیز آب و دیگری برای اندازه گیری فشار ناشی از ضربه قوچ) و مخزن اندازه گیری دبی حجمی آب و یک اسیلوسکوپ تشکیل شده است.

توسط پمپ می توان آب را از مخزن ذخیره به مخزن با ارتفاع ثابت منتقل نمود. مازاد آب پمپ شده از یک مسیر سرریز به مخزن ذخیره بر می گردد. از مخزن با ارتفاع ثابت دو لوله هر کدام به طول ۳ متر از جنس استیل انشعاب گرفته شده است. در انتهای یکی از آنها مخزن تعادل و یک شیر اهرم دار قرار دارد و در انتهای دیگری شیری است که با فشار دادن یک دکمه به طور سریع عمل نموده و جریان آب را متوقف می کند. در طول لوله دوم دو مبدل الکتریکی فشاری یکی در نزدیکی شیر سریع عمل کن و دیگر در فاصله  $(D) 1/5$  متری از آن قرار داده شده است. این دو مبدل افزایش فشار را به صورت ولتاژ و سرعت انتشار موج فشاری را به صورت زمان در روی یک اسیلوسکوپ نشان می دهند. در انتهای مسیر دو لوله ، مخزنی مدرج جهت اندازه گیری حجم معینی از آب در یک فاصله زمانی برای تعیین گذر حجمی قرار دارد.

آزمایش از دو قسمت تشکیل شده است. قسمت اول بررسی خیز و نوسانات سطح آب در مخزن تعادل و قسمت دوم تعیین افزایش فشار و سرعت انتشار آن در لوله می باشد.

**الف- روش آزمایش خیز آب در مخزن تعادل:** بعد از روشن نمودن پمپ شیر خروجی آن را به قدری باز می کنیم که مخزن با ارتفاع ثابت پر شده و مقدار کمی آب اضافی به مخزن ذخیره برگردد. مقدار آب اضافی را می توان از قسمت شفاف لوله برگشت مشاهده نمود. سپس شیرهای انتهای هر دو مسیر لوله ها را می بندیم. ارتفاع آب در مخزن تعادل بعد از مستهلک شدن نوسانات سطح آب در آن  $(H_2)$  همان ارتفاع آب در مخزن آب با ارتفاع ثابت است. با باز نمودن شیر اهرم دار و شیر کنترل جریان به طور کامل در انتهای لوله ای که مخزن تعادل در مسیر آن است اجازه می دهیم تا آب جاری شود. بعد از پایان نوسانات سطح آب ، ارتفاع آب در مخزن تعادل  $(H_{min})$  را یادداشت نمایید. دبی حجمی آب را اندازه گیری نموده و یادداشت نمایید. سپس شیر اهرم دار را به طور سریع بسته ، خیز حداکثر اولیه  $(H_{max})$  و یک زمان نوسانات کامل  $(T)$  اندازه گیری نمایید. با تکرار چندین بار این عمل می توان نوسانات تجربی سطح آب را بر حسب زمان رسم نمود.

توصیه می شود که ابتدا یک نمودار ساده از این حرکت سینوسی میرا کشیده شده و سپس با تکرار مراحل فوق نقاط حداکثر و حداقل سطح آب را در روی نمودار یادداشت و سپس زمان رسیدن از لحظه بسته شدن شیر تا هر نقطه حداکثر یا حداقل را جداگانه اندازه گیری نموده و در روی نمودار یادداشت نمایید تا در قسمت محاسبات آسانتر باشد.

### ب- روش آزمایش ضربه قوچ:

این قسمت از آزمایش با کمک یکی از کارکنان آزمایشگاه انجام می گیرد. شیر انتهایی مسیر لوله مخزن تعادل را کاملاً بسته و شیر انتهایی و شیر سریع عمل کن مسیر لوله دوم را کاملاً باز می کنیم و اجازه می دهیم تا مدتی جریان در داخل این لوله به حالت پایدار و دائمی برسد. دستگاه اسیلوسکوپ را روشن و آماده اندازه گیری می نماییم. با فشار دادن دکمه مربوط به شیر سریع عمل کن به طور ناگهانی جریان آب متوقف شده ، افزایش فشار و سرعت انتشار موج فشاری توسط دو مبدل در روی صفحه اسیلوسکوپ ضبط می گردد. محور قائم صفحه اسیلوسکوپ (ولتاژ) متناسب با فشار و محور افقی آن متناسب با سرعت انتشار موج فشاری می باشد. بعد از یادداشت نمودن ولتاژ مربوط به علامت مبدل اول و اختلاف زمانی ( $\Delta t$ ) بین ابتدا تا انتهای علامت مبدل اول ، شیر سریع عمل کن را باز نموده و دبی حجمی آب را اندازه گیری نمایید.

مشخصات آب و دستگاه مورد آزمایش به صورت زیر است:

$$L = 3m$$

$$a = 330.06mm^2$$

$$A = 1452.2mm^2$$

$$d = 20.5mm$$

$$D = 1.5m \quad \text{فاصله در مبدل}$$

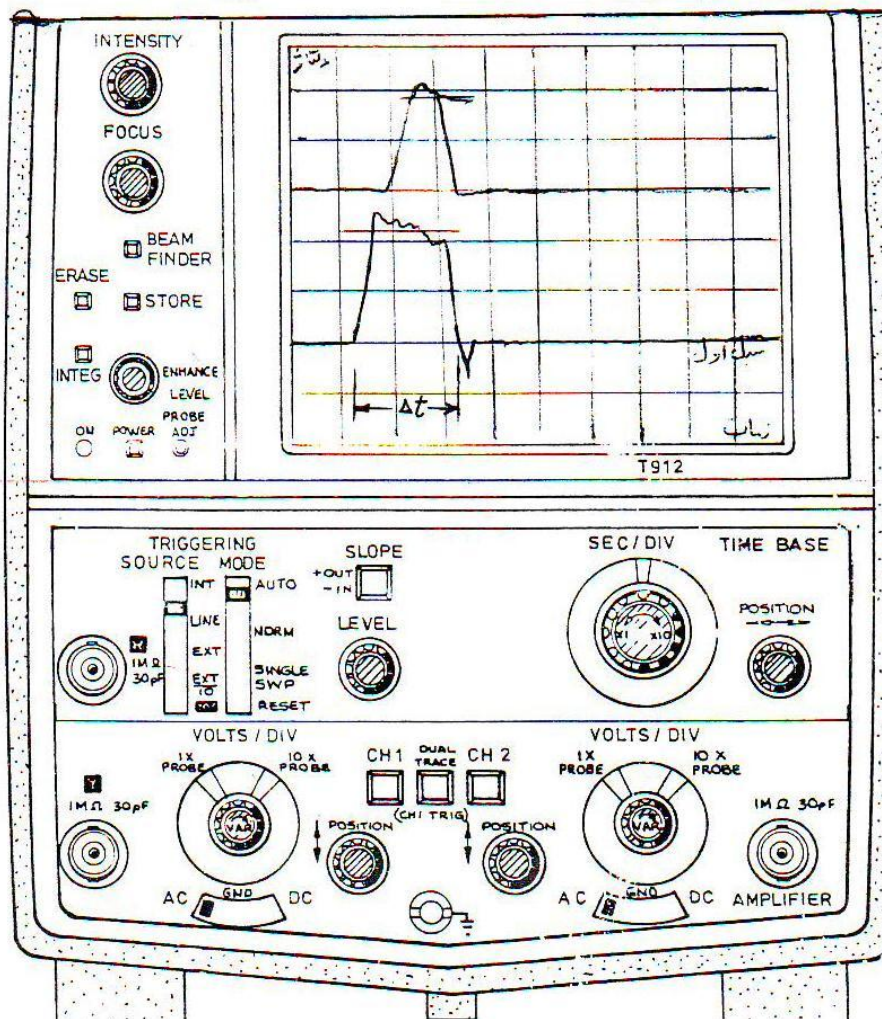
$$t = 1mm \quad \text{ضخامت لوله ها}$$

$$K = 214 \times 10^7 N/m^2 \quad \text{در دمای ۱۵ درجه}$$

$$E = 192 \times 10^9 N/m^2$$

$$\rho = 1000 kg/m^3$$

شکل (۲) نمای مقابل اسیلوسکوپ متصل به دستگاه را نشان می دهد.



شکل (۲): نمای اسیلوسکوپ

### نتایج و محاسبات:

به کمک قسمت الف آزمایش منحنی نوسانات سطح آب در مخزن تعادل را رسم کنید. یک پریود نوسان کامل سطح آب در مخزن تعادل را اندازه گیری نموده و سپس به کمک رابطه تئوری (۸) محاسبه نموده و با هم مقایسه کنید. دامنه نوسان حداکثر را توسط رابطه (ب-۱۰) به دست آورده و سپس مقدار تجربی آن را که از رابطه  $(Y_{\max})_{\text{experiment}} = H_{\max} - H_2$  به دست می آید مقایسه کنید. علل اختلاف مقادیر تجربی و تئوری حداکثر دامنه نوسان را شرح دهید. مقدار افت اصطکاکی در رابطه (ب-۱۰) را از رابطه  $h_f = H_2 - \left( H_{\min} + \frac{V_0^2}{2g} \right)$  به دست آورید. با تعیین حداکثر دامنه نوسان تئوری از رابطه (ب-۱۰) و

پریود نوسان از رابطه (۸) معادله حرکت سینوسی سطح آب در مخزن تعادل را رسم نمایید. در قسمت ب آزمایش توسط اسیلوسکوپ مقدار فشار را اندازه گیری کنید. هر ولت روی صفحه اسیلوسکوپ معادل ۱/۵ بار (کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع) فشار است. به کمک رابطه (۱۲) می توان مقدار تئوری فشار را بر حسب نیوتن بر متر مربع تعیین نموده و با مقدار تجربی آن مقایسه نمود. با اندازه

گیری فاصله زمانی بین شروع افزایش فشار تا کاهش فشار برای علامت مبدل اول و داشتن فاصله  $2L$  می توان سرعت انتشار موج فشاری را از رابطه  $\frac{2L}{\Delta t}$  به دست آورد. از طرفی این سرعت انتشار که برابر با سرعت صوت در همان محیط است از رابطه تئوری (۱۴) قابل محاسبه است. این دو مقدار را مقایسه کنید.

## آزمایش جریانهای گردابی

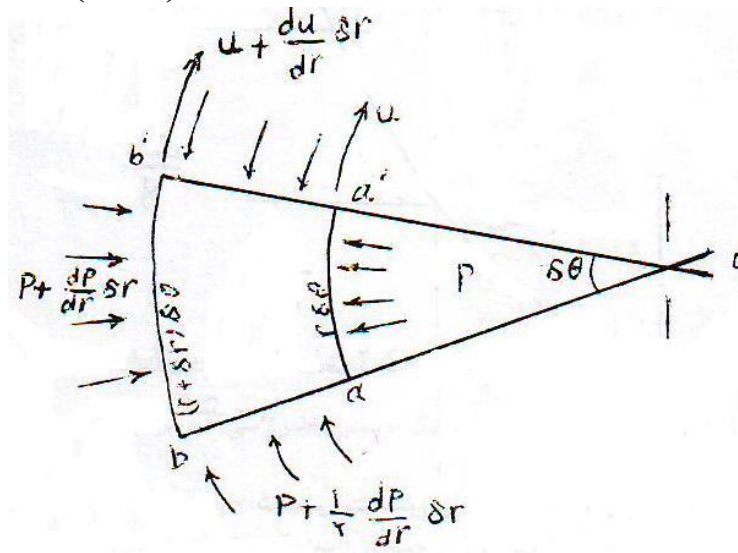
### هدف آزمایش:

هدف از این آزمایش بررسی تغییرات هد کلی در میان خطوط جریان برای جریانهای چرخشی و ثابت بودن آن برای جریانهای غیر چرخشی می باشد. همچنین تغییرات هد پیزومتری  $(\frac{P}{\gamma} + Z)$  را در جریانهای چرخشی می توان بررسی نمود.

### تئوری آزمایش:

حرکت دورانی و دائمی از مایعی غیر لزج را در حول محور ثابتی مطابق شکل (۱) در نظر گرفته ، با به کار بردن قانون نیوتن برای جزیی از این مایع به فاصله  $r$  از محور دوران و با سرعت  $u$  می توان نتیجه گرفت:

$$\frac{d}{dr} \left( \frac{P}{\gamma} + Z \right) = \frac{u^2}{gr} \quad (1)$$



شکل (۱)

حال با توجه به تعریف هد کلی که به صورت رابطه (۲) بیان می شود می توان تغییرات آن را به دست آورد.

$$H = \frac{u^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + Z \quad (2)$$

$$\frac{dH}{dr} = \frac{u}{g} \left( \frac{du}{dr} + \frac{u}{r} \right) \quad (3)$$

در واقع رابطه (۱) نشان دهنده تغییرات هد پیزومتری و رابطه (۳) نشان دهنده تغییرات هد کلی در طول یک خط جریان می باشد.



حال جریان گردابی خاص را که در آن  $u = r\Omega$  می باشد بررسی می کنیم. ( $\Omega$  مقدار ثابتی می باشد) در این حال تمام مایع مانند یک جسم صلب با سرعت زاویه ای  $\Omega$  می چرخد. به چنین حرکتی جریان دوران اجباری می گویند. با قرار دادن مقدار سرعت در رابطه (۱) و سپس انتگرال گیری آن و با توجه به شرایط مرزی که در  $r=0$  مقدار فشار و  $Z$  مبنا و برابر با صفر است رابطه (۱) به صورت زیر ساده می شود.

$$\frac{P}{\rho g} + Z = \frac{\Omega^2 r^2}{2g} \quad (۴)$$

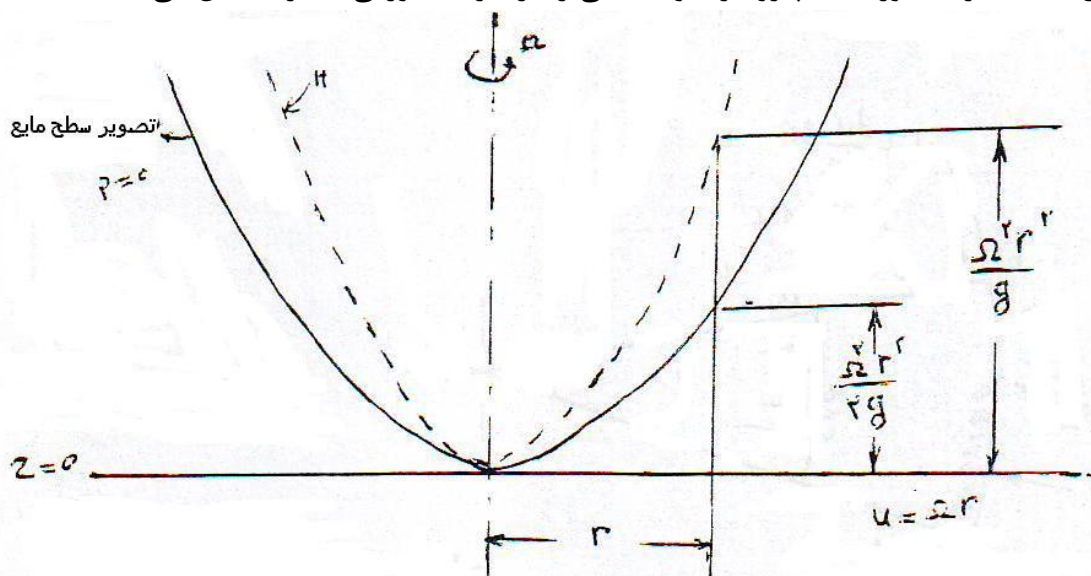
با توجه به اینکه در سطح آزاد مایع فشار برابر با صفر است می توان شکل تصویر سطح آزاد مایع را به صورت سهمی رابطه (۵) نشان داد.

$$Z = \frac{\Omega^2 r^2}{2g} \quad (۵)$$

برای به دست آوردن تغییرات هد کلی جریان در حرکت دوران اجباری کافی است که مقدار سرعت  $(u = r\Omega)$  را در رابطه (۳) قرار داده و با توجه به شرایط مرزی از آن انتگرال گرفت. نتیجه چنین محاسباتی به صورت رابطه (۶) ساده می شود.

$$H = \frac{\Omega^2 r^2}{g} \quad (۶)$$

شکل (۲) تغییرات تئوری هد پیزومتری و هد کلی را در حرکت دورانی اجباری نشان می دهد.



شکل (۲): تغییرات تئوری هد پیزومتری و هد کلی برای حرکت دورانی اجباری

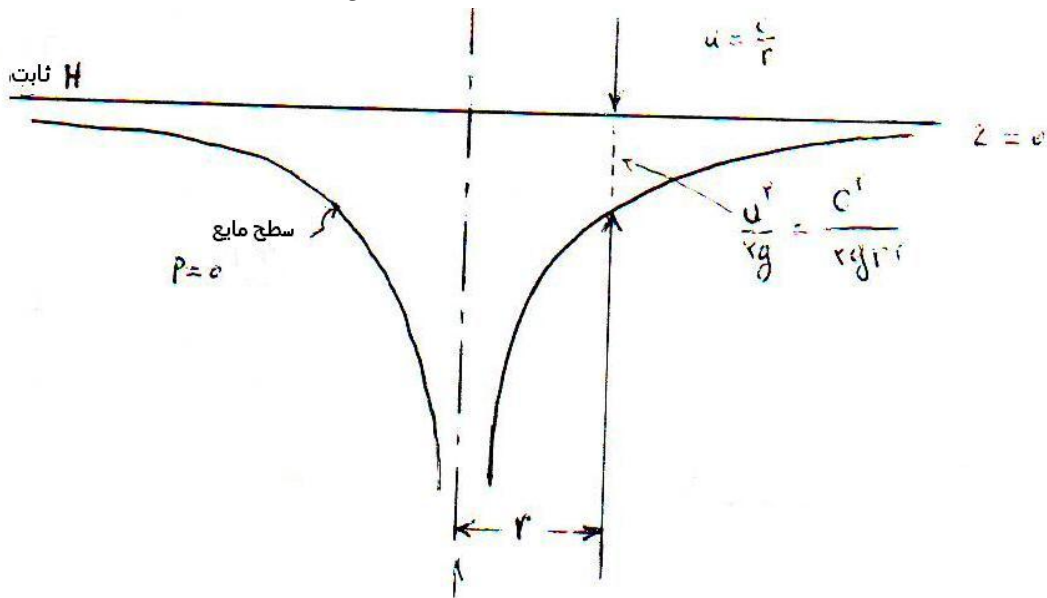
حال می خواهیم ببینیم که آیا امکان به وجود آوردن یک حرکت گردابی که غیر چرخشی باشد امکان پذیر است یا نه. یعنی حرکتی که در آن هد کلی در طول تمام خطوط جریان تغییر نکند. بدیهی است برای ثابت باقی ماندن  $H$  می بایست مقدار  $\frac{dH}{dr}$  برابر با صفر گردد. پس از انتگرال گیری از طرف دوم رابطه (۳) و ساده نمودن خواهیم داشت:

$$u = \frac{C}{r} \quad (7)$$

که در آن  $C$  ثابت انتگرال گیری می باشد. مشاهده می شود که وقتی  $r$  به سمت صفر میل می کند مقدار سرعت به سمت بی نهایت میل خواهد کرد. یعنی در اصل در مرکز دوران ( $r=0$ ) حل معادله امکان پذیر نیست. در مورد یک سیال حقیقی سرعت در مرکز دوران محدود باقی می ماند و همراه با تغییرات سرعت زیاد در مرکز مقداری کاهش در هد کلی به وجود می آید. شکل (۳) نمای یک دوران آزاد مایعی را که سطح آزاد آن در مقابل اتمسفر است نشان می دهد. ارتفاع سطح آزاد را در بیشترین مقدار  $r$  به عنوان مبنا و برابر با  $H$  در نظر می گیریم.

کاهش ارتفاع سطح آزاد ( $-Z$ ) در زیر خط مبنا در فاصله  $r$  را می توان از رابطه (۸) به دست آورد.

$$-Z = \frac{u^2}{2g} = \frac{C^2}{2gr^2} \quad (8)$$



شکل (۳): دوران آزاد

حرکت دورانی آزاد که تقریباً غیر چرخشی است معمولاً در یک گرداب به وجود می آید. در گرداب یک سرعت دورانی کوچک در شعاع بزرگ به تدریج که به صورت یک مسیر حلزونی به مرکز نزدیک می شود به مقدار زیادی افزایش می یابد.

عملاً مقدار افزایش سرعت به سمت مرکز مقداری غیر از آن چیزی است که توسط رابطه (۷) به دست می آید. در عمل می توان تغییرات سرعت را به صورت رابطه (۹) دانست.

$$u = \frac{C}{r^n} \quad (9)$$

با قرار دادن مقدار سرعت از رابطه (۹) در رابطه (۱) و با توجه به اینکه سطح آزاد دوران دارای فشار صفر است می توان نمودار نیمه تجربی سطح آزاد را به صورت روابط (۱۰) و (۱۱) ساده نمود.

$$Z = \frac{-C^2}{2gnr^{2n}} \quad (10)$$

$$\log(-Z) = \log \frac{C^2}{2gn} - 2n \log r \quad (11)$$

همچنین با قرار دادن مقدار سرعت از رابطه (۹) در رابطه (۳) می توان تغییرات هد کلی را به صورت رابطه (۱۲) ساده نمود.

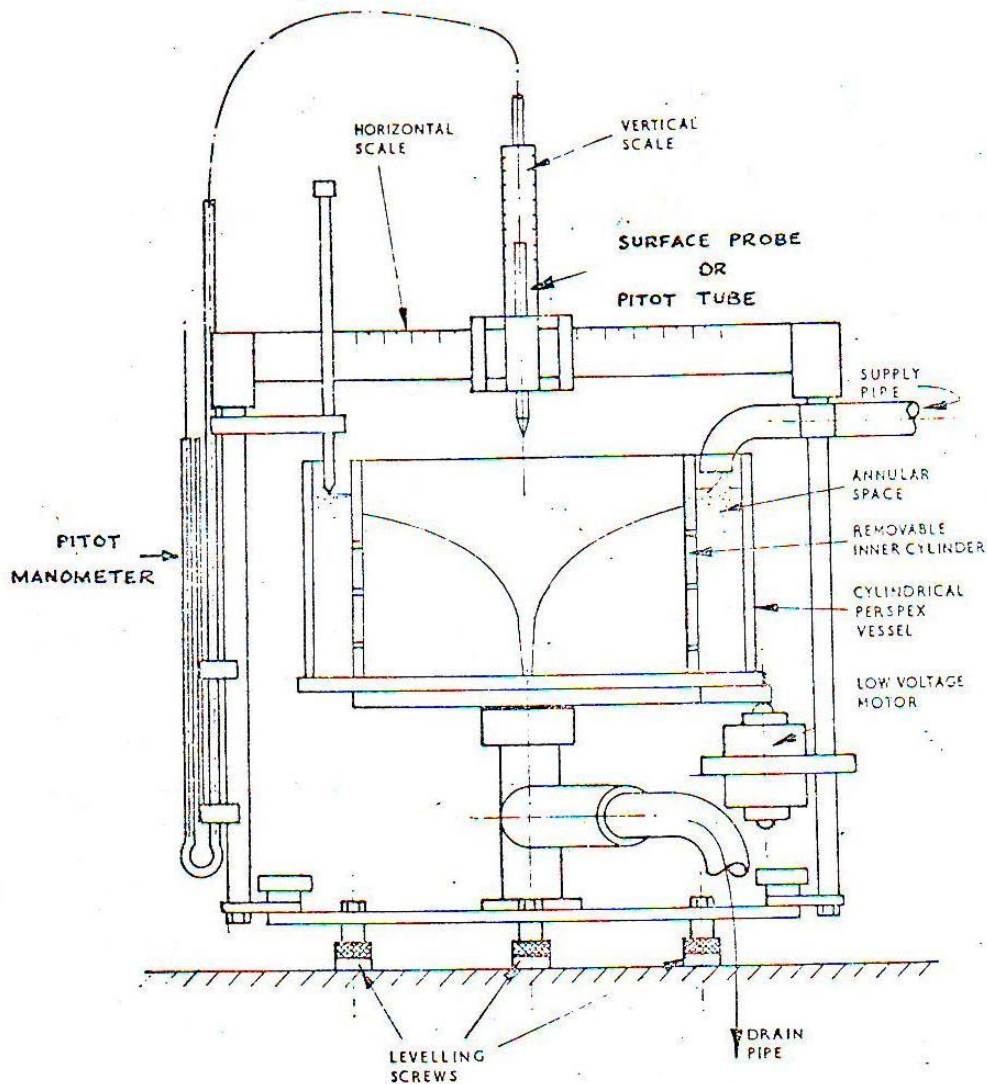
$$H = (1-n)Z \quad (12)$$

مقدار  $n$  و  $C$  را می توان از طریق تجربی به دست آورد.

### شرح دستگاه و روش آزمایش

دستگاه مورد آزمایش از یک سطل استوانه ای شکل شفاف که توسط یک موتور الکتریکی دور متغیر حول محورش می گردد تشکیل شده است. سوراخی در کف سطل وجود دارد که توسط یک توپی بسته می شود. می توان مقداری آب تا ارتفاع معین داخل سطل ریخت و توسط موتور مجموعه را به چرخش در آورد.

بعد از مدتی دوران با سرعت یکنواخت جریانی از نوع دوران اجباری به وجود می آید. توسط یک پراب متحرک در طول قطر سطل می توان نمودار سطح مایع و توسط یک لوله پیتوت متحرک می توان تغییرات هد کلی جریان را تعیین نمود. شکل (۴) نمای دستگاه مورد آزمایش را نشان می دهد.



شکل (۴): دستگاه جریان گردابی

اگر مطابق شکل (۳) یک جریان کاملاً پیوسته ای برقرار شود (توسط برداشتن تویی کف سطل) شرایط لازم برای دوران آزاد به دست آمده است. برای مناسب بودن شرایط برای جریان دوران آزاد یک استوانه شفاف مشبک دیگری را در داخل سطل قرار می دهیم. مادامی که آب در مسیر حلزونی با سرعت کم به طرف سوراخ وسط در کف سطل حرکت می کند سرعت گردش آب اضافه می شود. توسط پراب و لوله پیتوت می توان نمودار سطح آزاد مایع و هد کلی جریان را تعیین نمود.

برای شروع آزمایش به ترتیب زیر عمل می شود.

توسط بستن سوراخ کف سطل با تویی و ریختن آب تا ارتفاع نیمه در داخل سطل موتور را روشن کرده و سعی می کنیم تا دور مناسب (حدوداً ۸۰ دور در دقیقه) برقرار شود.

اندازه گیری دور توسط کرومومتر و شمارش دور تعیین می شود. توسط تنظیم پراب در مرکز و حرکت وضعی و انتقالی آن در طول قطر می توان مختصات نقاطی از سطح آزاد مایع را تعیین نمود. برای دقت بیشتر سعی شود که نقاط متقارن نسبت به محور شکل اندازه گیری شوند.

تغییرات وضعی پرآب در نواحی مرکزی حدوداً ۰/۲ سانتیمتر و در نواحی دور از مرکز حدوداً ۱ سانتیمتر مناسب می باشد.

با جایگزین نمودن لوله پیتوت و تغییر وضعیت آن در طول قطر می توان توزیع هد کلی را تعیین نمود. دقت شود که انتهای لوله پیتوت کاملاً در زیر سطح آب غوطه ور باشد.

برای به وجود آوردن دوران آزاد توپی را از کف سطل برداشته و استوانه مشبک را در داخل سطل قرار می دهیم. توسط باز نمودن شیر میز آزمایشگاهی به مقدار کم (در تمام مراحل آزمایش) و قرار دادن دور موتور به مقدار مطلوب (حدوداً ۳۰ دور در دقیقه) صبر می کنیم تا شرایط دائمی جریان برقرار شود. توسط شاخص کمکی نصب شده در بین دو استوانه سعی شود که ارتفاع آب در طول آزمایش ثابت باقی بماند. حال به کمک پرآب و لوله پیتوت می توان مطابق با روش پیش گفته شده تغییرات سطح آزاد و هد کلی را تعیین نمود. برای هر بار قرار دادن پرآب در وضعیت قائم، دو قرائت روی مقیاس افقی انجام می گیرد. تغییرات فواصل قائم شاخص در حدود ۰/۲ سانتیمتر در نواحی نزدیکی جداره استوانه و ۱ سانتیمتر در نواحی مرکزی مناسب می باشد.

### نتایج و محاسبات :

**الف - دوران اجباری:** نتایج حاصل از قرائت شاخص پرآب و لوله پیتوت را برای دوران اجباری در جداول (۱) و (۲) یادداشت نمایید. فواصل مناسب برای وضعیت لوله پیتوت در امتداد قطر در جدول نوشته شده است. نمودار هد کلی ( $H$ ) و نمودار سطح مایع را در مقیاس شکل (۵) رسم نمایید. همچنین تغییرات  $Z$  و  $H$  را بر حسب  $r^2$  در مقیاس مشخص شده شکل (۶) رسم نمایید. به کمک نمودار (۶) مقدار  $\frac{Z}{r^2}$  را تعیین کرده و با مقدار  $\frac{\Omega^2}{2g}$  مقایسه کنید.

**ب - دوران آزاد:** نتایج حاصل از قرائت شاخص پرآب و پیتوت را برای دوران آزاد در جداول (۳) و (۴) یادداشت نمایید. برای تعیین  $Z$  در جدول (۳) ابتدا  $Z_{ref}$  را از رابطه

$$Z_{ref} = \frac{u_c^2}{2g} + \text{جداره در قائم}$$

حساب نموده و سپس  $Z$  را از رابطه زیر تعیین کنید.

$$Z = Z_{ref} - \text{قرائت مقیاس قائم}$$

همچنین مقدار سرعت در جداره از رابطه  $u_c = r_c \times \Omega$  تعیین می شود که  $r_c$  همان شعاع استوانه داخلی ( $r_c = 14.5 \text{ cm}$ ) و  $\Omega$  سرعت زاویه ای متوسط ( $\Omega = \frac{2\pi n}{60}$ ) می باشد.

دقت شود که قرائت مقیاس قائم در جداره از طریق برون یابی منحنی سطح به دست می آید. مقدار  $H_{ref}$  در جدول (۴) توسط تخمین قرائت لوله پیتوت در جداره به دست می آید. تغییرات هد کلی ( $H$ ) و ارتفاع سطح مایع ( $Z$ ) را بر حسب  $r$  برای دوران آزاد در مقیاس شکل (۷) رسم نمایید. بعد از ترسیم مشاهده می شود که بر خلاف آنچه در بخش تئوری گفته شد هد کلی مقدار ثابتی نمی باشد این اختلاف توسط روابط (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) قابل توجیه است. به کمک رسم نمودار  $\log(-Z)$  بر حسب  $\log r$  در

مقیاس شکل (۸) می توان مقادیر عددی  $n$  و  $C$  را به دست آورد. با قرار دادن مقادیر  $n$  و  $C$  در روابط (۱۰) و (۱۲) می توان تغییرات  $Z$  و  $H$  را بر حسب  $r$  در مقیاس شکل (۹) رسم نمود.

تغییرات تئوری هد کلی ( $H$ ) را بر حسب  $r^2$  به کمک رابطه  $H = \frac{\Omega^2 r^2}{g}$  در شکل مقیاس (۶) برای

دوران اجباری رسم نموده و علل اختلاف آن را با نتایج تجربی مقایسه کنید.

در رسم نمودارها بحث کنید. توسط آزمایش دوران اجباری مقدار شتاب ثقل را به دست آورید. در مبحث تئوری از مولفه های شعاعی و محوری سرعت صرف نظر شده است و همچنین فرض شده است که مولفه مماسی سرعت فقط با شعاع تعیین می شود. آیا این فرضیات قابل قبول است؟

جدول شماره ۱: اندازه گیری نمودار سطح برای دوران اجباری

قرائت مقیاس قائم (cm)	Z (cm)	قرائت مقیاس افقی (cm)		$r_2 - r_1$ (cm)	$r = \frac{r_2 - r_1}{2}$ (cm)	$r^2$ (cm <sup>2</sup> )
		$r_1$	$r_2$			
	۰	۱۵	۱۵	۰	۰	۰

جدول شماره ۲: اندازه گیری هد کلی برای دوران اجباری

قرائت مقیاس افقی (cm)		$r = \frac{r_2 - r_1}{2}$ (cm)	$r^2$ (cm <sup>2</sup> )	قرائت لوله پیتوت (cm)		متوسط H $H = \frac{H_1 + H_2}{2}$
$r_1$	$r_2$			$H_1$	$H_2$	
۱۵	۱۵					
۱۱	۱۹					
۹	۲۱					
۷	۲۳					
۵	۲۵					
۴	۲۶					
۳	۲۷					
۲	۲۸					
۱	۲۹					
۰/۵	۲۹/۵					

جدول شماره ۳: اندازه گیری نمودار سطح برای دوران آزاد

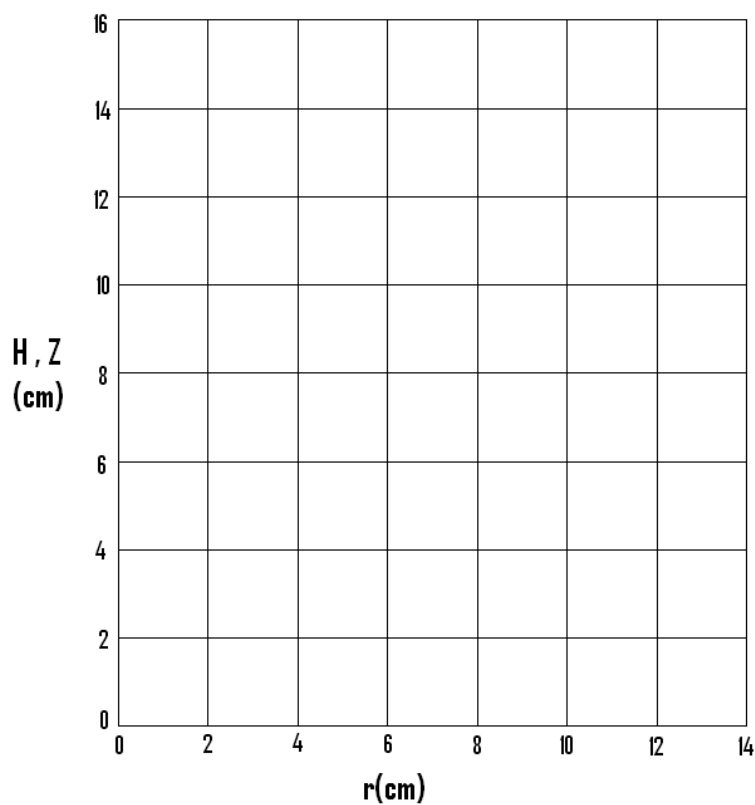
$$Z_{ref} = \frac{u_c^2}{2g} + \text{جداره در مقیاس قائم در جداره}$$

قرائت مقیاس قائم (cm)	Z (cm)	قرائت مقیاس افقی (cm)		$r_2 - r_1$ (cm)	r (cm)
		$r_1$	$r_2$		

جدول شماره ۴: اندازه گیری هد کلی برای دوران آزاد

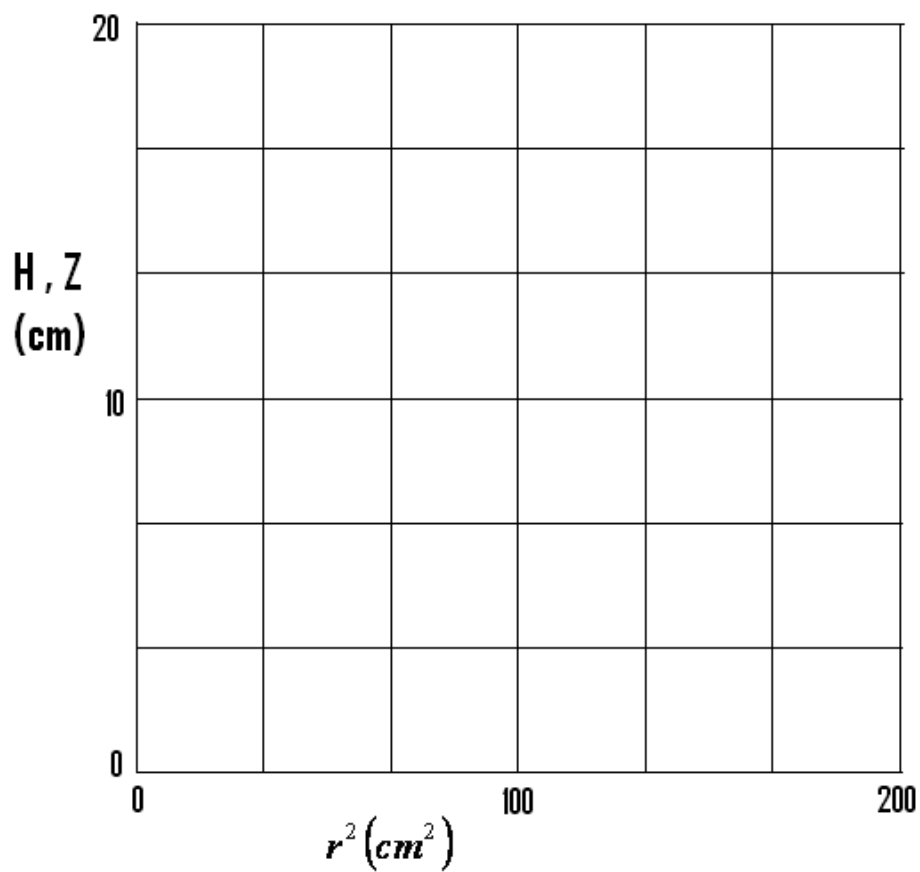
$$Z = Z_{ref} - \text{قرائت مقیاس قائم}$$

قرائت مقیاس افقی (cm)		$r$ (cm)	قرائت لوله پیتوت (cm)			$H = H_{mean} - H_{ref}$ (cm)
$r_1$	$r_2$		$H_1$	$H_2$	متوسط $H$	

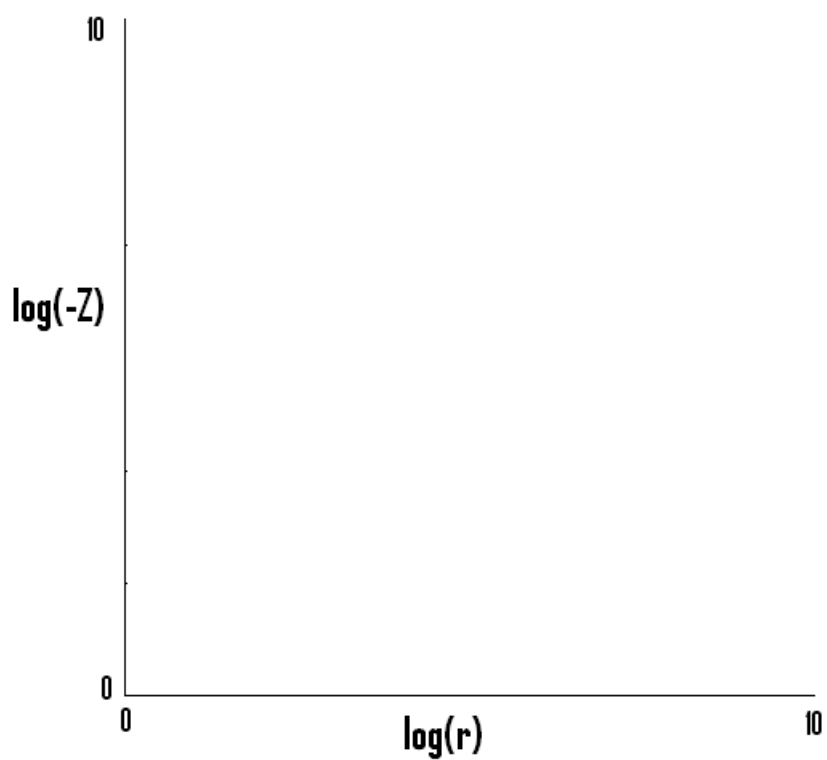


شکل (۵): تغییرات هد کلی پیزومتری بر حسب  $r$  (دوران اجباری)

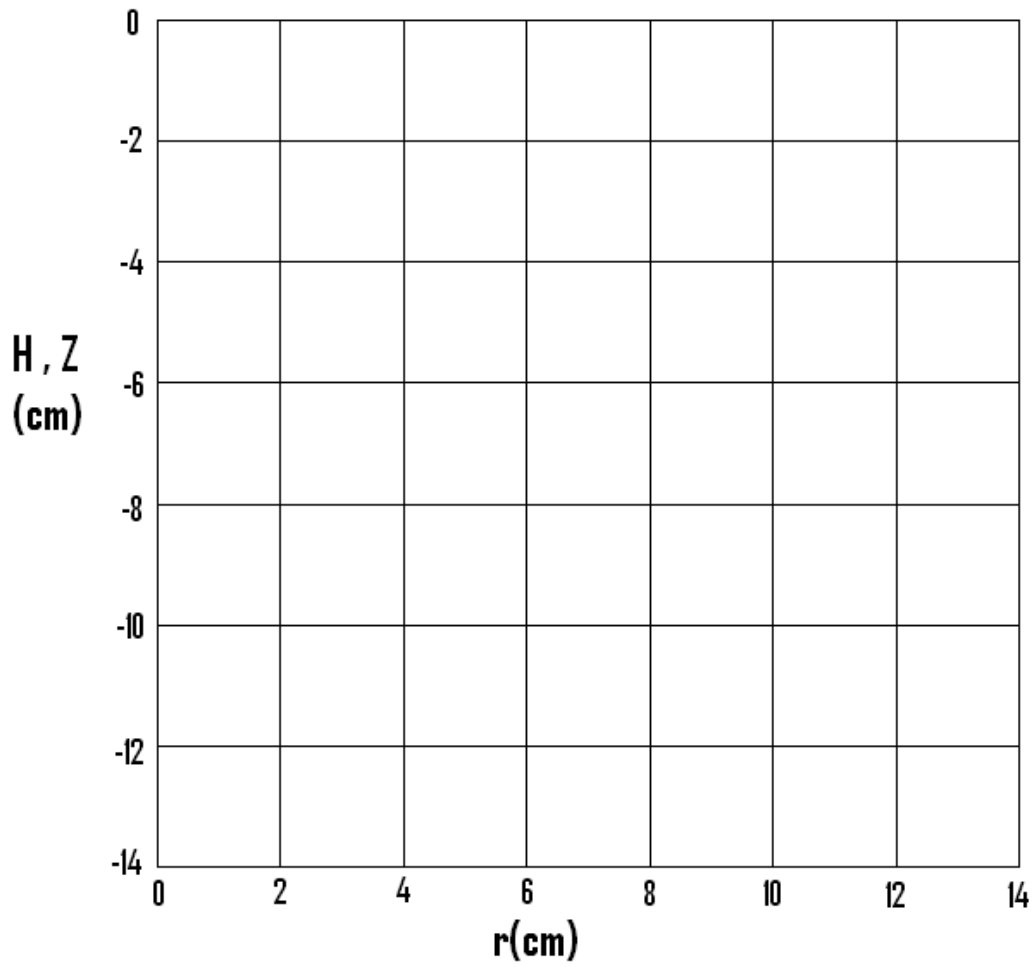




شکل (۶): تغییرات H و Z بر حسب  $r^2$  (دوران اجباری)



شکل (۸): تغییرات  $\log(-Z)$  بر حسب  $\log(r)$  برای تعیین C و n



شکل (۷) و (۹): نمودار تغییرات هد کلی (H) و سطح (Z) با فرض اینکه  $u = \frac{C}{r}$  و  $u = \frac{C}{r^n}$

## پمپ گریز از مرکز (سانتریفوژ)

### هدف آزمایش :

هدف آزمایش شناسایی و کاربرد پمپ سانتریفوژ ، اندازه گیری هد مانومتری ، راندمان و سرعت مخصوص پمپ در دورهای مختلف و رسم منحنی های مشخصه آن می باشد.

### تئوری آزمایش :

مهمترین بررسی عملی در کارکرد پمپها رسم منحنی های مشخصه آنها می باشد. این منحنی ها نشان دهنده روابط بین هد بر حسب گذر جریان ، توان داده شده و راندمان بر حسب گذر و غیره می باشند. توانی که پمپ از موتور راه اندازش اخذ می کند معمولا با BHP نشان داده می شود ( Brake Horse Power ) و توانی که پمپ به سیال می دهد معمولا با WHP نشان داده می شود. ( Water Horse Power ) طبق تعریف نسبت توان منتقل شده به سیال به توان داده شده به پمپ را راندمان پمپ می نامند.

$$\eta_p = \frac{W.H.P}{B.H.P} \quad (1)$$

اگر سیال با گذر  $Q$  و ارتفاع مانومتری  $H$  از پمپ منتقل شود ، توان داده شده به سیال از رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$W.H.P = \gamma HQ = PQ \quad (2)$$

اگر موتور پمپ با سرعت  $\omega$  و گشتاور  $C$  دوران کند توان داده شده به پمپ از رابطه (۳) محاسبه می شود.

$$BHP = C.\omega \quad (3)$$

اگر بازوی گشتاورسنج نصب شده روی بدنه موتور  $l$  و نیروی موثر آن  $F$  باشد مقدار گشتاور از رابطه (۴) قابل محاسبه است.

$$C = F.l \quad (4)$$

گاهی در پمپها راندمان کلی (راندمان الکتروپمپ) را محاسبه می کنند. در چنین حالتی طبق تعریف نسبت توان داده شده به سیال به توان الکتریکی مصرف شده توسط موتور را راندمان کلی می نامند. همچنین طبق تعریف نسبت توان مکانیکی گرفته شده از موتور به توان الکتریکی مصرف شده را راندمان موتور می نامند. اگر موتور جریانی مستقیم به شدت  $I$  و پتانسیل  $V$  مصرف کند توان الکتریکی آن از رابطه (۵) و راندمان آن از رابطه (۶) به دست می آید.

$$W = V.I \quad (5)$$

$$\eta_m = \frac{C.\omega}{V.I} \quad (6)$$

در این حالت توان کلی الکتروپمپ از رابطه (۷) به دست می آید.

$$\eta = \eta_m.\eta_p = \frac{\gamma QH}{V.I} = \frac{PQ}{VI} \quad (7)$$

مشخصه دیگری که در پمپها دارای اهمیت است مقدار سرعت مخصوص آن است. سرعت مخصوص عبارت است از سرعت چرخشی یک پمپ که به طور هندسی با پمپ مورد آزمایش مشابه بوده و بتواند گذر یک متر مکعب بر ثانیه را به ارتفاع یک متر بالا برد. سرعت مخصوص یک پمپ در سیستم متریک از رابطه (۸) محاسبه می گردد.

$$N_s = \frac{n\sqrt{Q}}{(gH)^{3/4}} = cte. \frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}} = cte.N_s' \quad (۸)$$

معمولا سرعت مخصوص را در راندمان ماکزیمم به دست می آورند. دو پمپ وقتی از نظر هندسی مشابه اند که دارای یک زاویه ساختمانی بوده و ابعاد خطی آنها متناسب باشند. در صورتی که سرعتهای سیال در نقاط مشابه دارای یک نسبت باشند می گویند دو پمپ باهم تشابه هیدرولیکی دارند. اعداد بدون بعد مهم دیگر در پمپ ها ضریب هد و ضریب گذر می باشند که بصورت زیر تعریف می شوند.

$$\text{ضریب هد} = \frac{gH}{M^2 D^2}$$

$$\text{ضریب گذر} = \frac{Q}{nD^3}$$

از طرفی می توان نوشت که:

$$\text{سرعت ویژه} = \frac{(\text{ضریب هد})^{3/4}}{(\text{ضریب گذر})^{1/2}}$$

### شرح دستگاه و روش آزمایش :

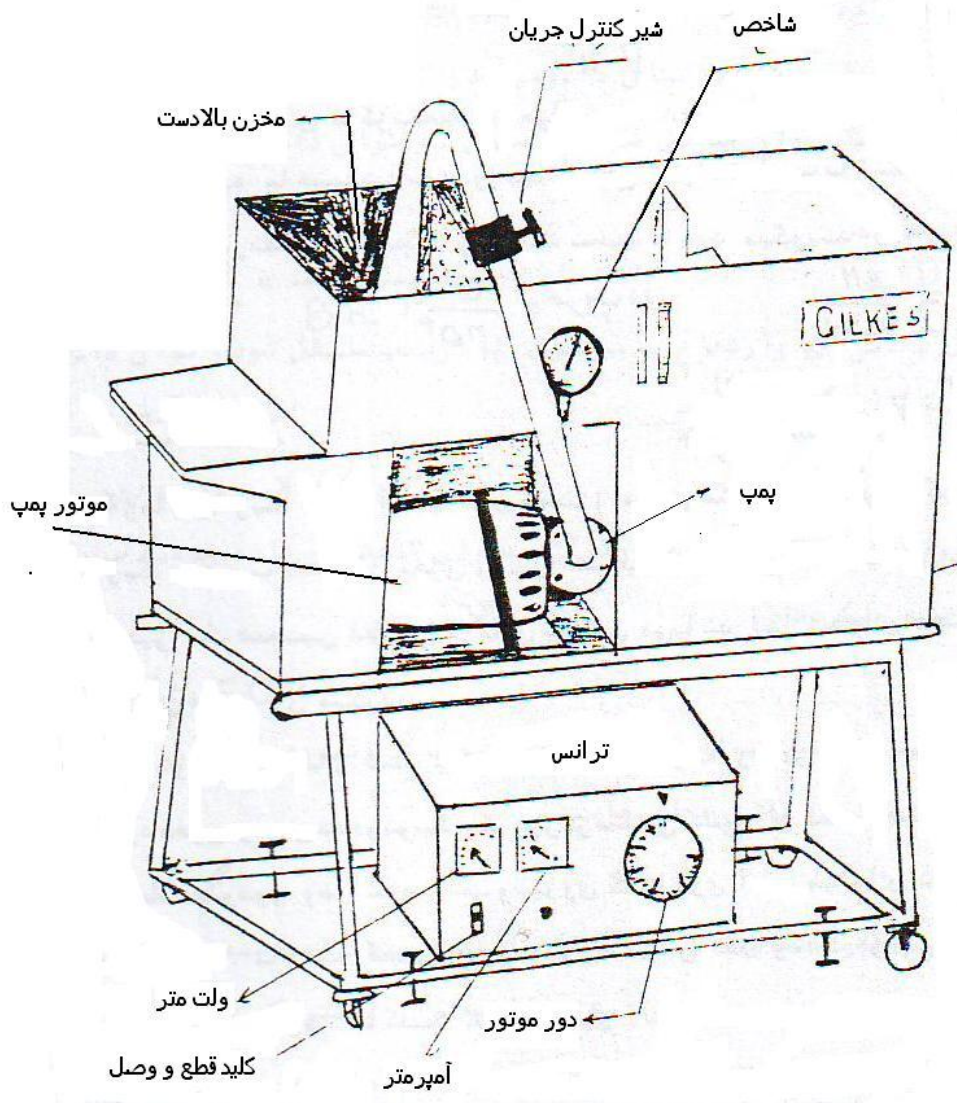
دستگاه مورد آزمایش از یک مخزن آب پایین دست (مخزن مکش) ، یک پمپ گریز از مرکز دور متغیر و یک مخزن بالادست (مخزن رانش) تشکیل شده است. اختلاف ارتفاع دو مخزن تقریبا ناچیز است همچنین قطر لوله رانش و مکش یکسان می باشد لذا توان منتقل شده به آب تنها صرف افزایش فشار آن می گردد. فشار آب خروجی از پمپ توسط یک فشارسنج عقربه ای در روی لوله رانش مشخص می شود. آب خروجی از پمپ وارد مخزن رانش شده و توسط یک سرریز مثلثی گذر آن بر حسب مترمکعب بر دقیقه معلوم می گردد.

بازوی گشتاورسنج به بدنه آزاد موتور وصل شده است و نیروی گشتاوری آن را می توان توسط نیرو سنج جیوه ای معین کرد. با جعبه کنترل دور موتور می توان مقدار شدت جریان الکتریکی و اختلاف پتانسیل الکتریکی را تعیین نمود. با کلید گردان روی این جعبه می توان دور موتور را در مقدار خواسته شده قرار داد. به کمک عدد مقابل شاخص روی کلید گردان و نمودار (۲) می توان دور موتور را به دست آورد. به اختصار ۳۰ برابر مقدار شاخص دور در دقیقه می شود.

آزمایش پمپ گریز از مرکز را در ۳ دور مختلف به ترتیب زیر انجام دهید.

دستگاه را روشن نموده و شاخص کلید گردان را در مقابل عدد ۵۰ قرار دهید (دور موتور در این حالت حدودا ۱۵۰۰ دور در دقیقه است) سپس شیر خروجی در روی لوله رانش را به طور کامل باز کنید. مقدار ولتاژ ، آمپر ، نیروی گشتاوری موتور ، فشار مانومتری و گذر حجمی آب را یادداشت نمایید. شیر خروجی را در چند مرحله به میزان مشخص شده در جدول ببندید و اطلاعات فوق را در هر مرحله یادداشت نمایید. این عمل را تا بستن کامل شیر ادامه دهید. در مرحله دوم عدد ۶۰ کلید گردان را در مقابل

شاخص قرار داده (دور موتور در این حالت حدوداً ۱۸۰۰ دور در دقیقه است) و شیر خروجی را به طور کامل باز کنید و مطابق دور قبلی اطلاعات لازم را یادداشت نمایید. این آزمایش را در ۲۱۰۰ دور در دقیقه تکرار نموده و اطلاعات لازم را یادداشت نمایید. در پایان آزمایش شیر لوله رانش را کاملاً بسته و دور موتور را کم نموده و دستگاه را خاموش کنید.



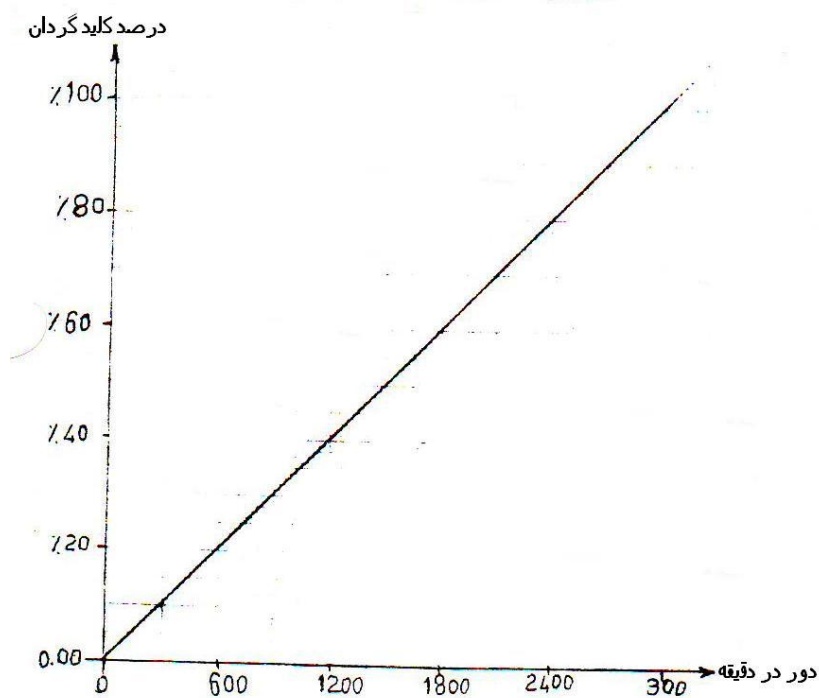
شکل (۱): دستگاه پمپ سانتریفوژ

### نتایج و محاسبات

نتایج حاصل از هر مرحله دور پمپ را در جدول مشابه جدول (۱) یادداشت نموده و محاسبات جدول را کامل کنید. سپس به کمک ۳ جدول دسته منحنی های مشخصه پمپ را در روی یک مقیاس مطابق ذیل رسم نمایید.

دسته اول رسم تغییرات  $H$  بر حسب  $Q$  در سه دور مختلف روی یک مقیاس  
دسته دوم رسم تغییرات  $BHP$  بر حسب  $Q$  در سه دور مختلف روی یک مقیاس  
دسته سوم رسم تغییرات  $\eta_p$  بر حسب  $Q$  در سه دور مختلف روی یک مقیاس

دسته چهارم رسم تغییرات  $\eta_m$  بر حسب  $Q$  در سه دور مختلف روی یک مقیاس  
 دسته پنجم رسم تغییرات  $\eta$  بر حسب  $BHP$  در سه دور مختلف روی یک مقیاس  
 در مورد نحوه تغییرات منحنی های رسم شده بحث کنید. سرعت ویژه پمپ را در هر دور موتور ( در  
 حالت راندمان ماکزیمم) به دست آورید. اثر درجه حرارت مایع و وجود ذرات جامد در مایع در طرز کار و  
 راندمان پمپ چیست؟. منظور از راه اندازی یک پمپ چیست (مراحل راه اندازی یک پمپ گریز از مرکز را  
 بنویسید). عوامل موثر در انتخاب ارتفاع مکش یک پمپ گریز از مرکز چیست؟. ضریب هد و ضریب گذر  
 را در حداکثر راندمان به دست آورید.



شکل (۲): تغییرات درصد کلید گردان بر حسب دور در دقیقه

میزان کفید گردان = %

جدول (۱)

مقادیر اندازه گیری شده							مقادیر محاسبه شده					
پاشدگی شیر آب	P پاسکال	Q ( $m^3/min$ )	F(N)	V ولت	I آمپر	C=F.I گشتاور	BHP= C.W	V.I وات	WHP= P.Q	$\eta_P = \frac{P.Q}{C.W}$	$\eta_m = \frac{C.W}{V.I}$	$\eta = \eta_P \eta_m$
تمام باز												
۴/۵ دور بسته												
۱ دور بسته												
۱ دور بسته												
۰/۵ دور بسته												
۰/۵ دور بسته												
۰/۵ دور بسته												
۰/۵ دور بسته												
۰/۲۵ دور بسته												
۰/۲۵ دور بسته												
۰/۲۵ دور بسته												
۰/۲۵ دور بسته												

## توربین پلتون

### هدف آزمایش :

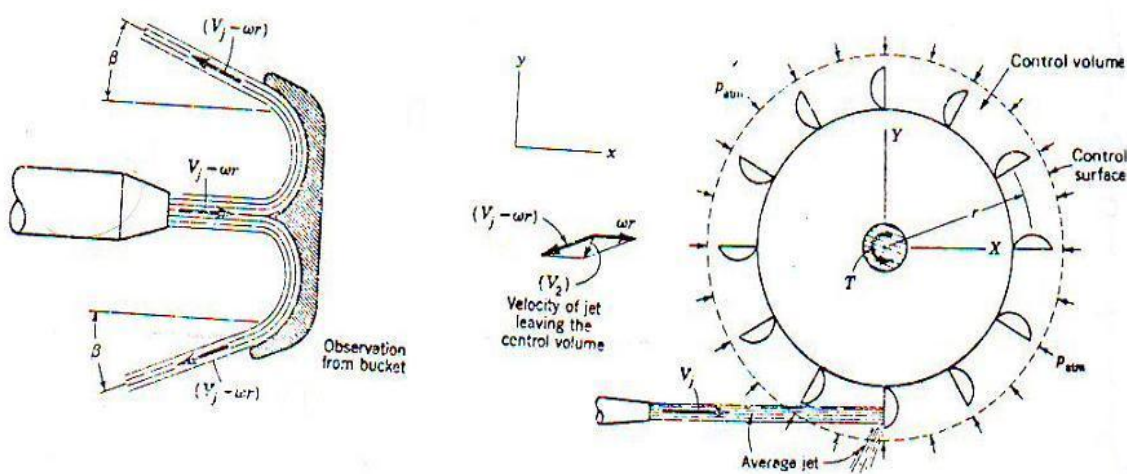
هدف این آزمایش شناسایی ساختمان و طرز کار با توربین پلتون ، محاسبه راندمان و رسم منحنی های مشخصه آن می باشد.

### تئوری آزمایش :

در اثر برخورد یک جت آب با یک پره و تغییر جهت آن مقدار حرکت (مومنتم) جت آب تغییر می یابد. طبق تئوری تغییر مقدار حرکت نسبت به زمان برابر با نیروی موثر بر پره می باشد. اگر  $V_j$  سرعت مطلق جت آب هنگام خروج از نازل باشد هنگام برخورد با پره های چرخ پلتون این سرعت به دو مولفه تجزیه می گردد. یکی سرعت ذرات آب نسبت به پره های چرخ ( $v_1$ ) و دیگری سرعت جانبی پره ها ( $r\omega$ ).  $\omega$  سرعت زاویه ای و  $r$  شعاع چرخ پلتون می باشد. در شکل (۱) نحوه برخورد جت آب به یک چرخ پلتون نشان داده شده است.

با توجه به شکل (۱) سرعت نسبی برخورد جت آب ( $v_1$ ) برابر است با :

$$v_1 = V_j - r\omega \quad (1)$$



شکل (۱): نحوه برخورد جت آب به چرخ پلتون

اگر از اثر نیروی ثقل و اصطکاک صرفنظر شود اندازه سرعت نسبی بدون تغییر می ماند یعنی سرعت نسبی آب خروجی از چرخ پلتون ( $v_2$ ) برابر با  $v_1$  می باشد. در این حالت سرعت مطلق سیال خروجی از چرخ پلتون ( $v_2$ ) برابر با جمع برداری ( $V_j - r\omega$ ) و  $r\omega$  در خروج از چرخ می باشد. با نوشتن معادله مقدار حرکت برای حجم کنترلی که یکی از پره ها را شامل شود می توان نیروی موثر بر پره را به دست آورد. با صرفنظر کردن از اصطکاک و نیروی جرمی ثقل مقدار این نیرو از رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$(K_T)_x = \rho Q (V_j - r\omega) (1 + \cos \beta) \quad (2)$$



و مقدار لنگری که این نیرو بر چرخ اعمال می کند از رابطه (۳) قابل محاسبه است.

$$T = r\rho Q(V_j - r\omega)(1 + \cos \beta) \quad (۳)$$

توان ناشی از این لنگر بر چرخ پلتون از رابطه (۴) قابل محاسبه است.

$$Power = T.\omega = r\rho Q\omega(V_j - r\omega)(1 + \cos \beta) \quad (۴)$$

البته این مقدار توان را عملاً می توان از طریق دیگری محاسبه نمود. اگر مقدار انرژی که هر واحد وزن آب هنگام عبور از چرخ پلتون از دست می دهد برابر با  $H_T$  باشد و گذر جریان  $Q$  با توجه به مشخصات وسیله آزمایش طبق رابطه برنولی توانی را که آب از دست می دهد می توان از رابطه (۵) به دست آورد.

$$WHP = Power = \gamma QH_T \quad (۵)$$

عملاً می توان توسط نصب یک سیستم ترمزی در روی محور توربین مقداری از این توان را جذب نمود. اگر لنگر گرفته شده از محور توربین  $T$  و سرعت آن  $\omega$  باشد توان گرفته از آن برابر است با:

$$BHP = BrakeHorsePower = T.\omega \quad (۶)$$

حال طبق تعریف راندمان توربین به صورت رابطه (۷) بیان می شود.

$$\eta_T = \frac{BHP}{WHP} = \frac{T\omega}{\gamma QH_T} \quad (۷)$$

در طراحی و محاسبه یک ماشین علاوه بر استفاده از مطالب تئوری می بایست از یک سری عوامل و نتایج تجربی هم استفاده نمود. لذا به منظور صرفه جویی در مصرف بودجه ابتدا محاسبات و نتایج بر روی یک دستگاه کوچکتر به عنوان مدل آزمایش می شود تا بر صحت محاسبات اطمینان حاصل شود. جهت شناختن توربین از روی مدل بایستی بین مدل و دستگاه اصلی تشابه کامل وجود داشته باشد.

تشابه هندسی بین مدل و دستگاه اصلی این است که در نقاط متناظر نسبت طولها مقدار ثابتی باشد. حال اگر در این نقاط مثلث سرعتها با یکدیگر مشابه باشند در چنین شرایطی مسلماً بین خطوط جریان در دو دستگاه تشابه وجود دارد. با توجه به دو شرط فوق می توان گفت که بین دو ماشین آبی تشابه دینامیکی هم وجود دارد. اگر اثرات ویسکوزیته سیال در مدل و دستگاه یکسان باشد (در این حال عدد رینولدز در دو دستگاه مساوی است) می توان گفت که بین مدل و دستگاه تشابه کامل وجود دارد.

نابرابری عدد رینولدز در مدل و دستگاه اصلی در مقدار راندمان تاثیر می گذارد (به خاطر تاثیر مقیاس) که در تئوری مربوط به تشابه دینامیکی از آن صرفنظر می شود. لذا می توان راندمان در توربین های مشابه دینامیکی را با یکدیگر برابر دانست.

پر اهمیت ترین معادلات در توربین های مشابه دینامیکی به صورت رابطه (۸) بیان می شوند.

$$\text{رابطه گروههای بدون بعد از قضیه پی باکینگهام} \left\{ \begin{array}{l} \frac{Q}{nD^3} = cte \\ \frac{H}{n^2 D^2} = cte \\ \frac{P}{\gamma^3 D^2} = cte \end{array} \right. \quad (۸)$$

(ضریب گذر)  $f$  = ضریب هد

$$\frac{gH}{(ND)^2} = f\left(\frac{Q}{ND^3}\right)$$

$$f\left(\frac{Q}{nD^3}, \frac{\Delta H}{D}, \frac{g}{n^2 D}, \frac{nD^2}{v}\right) = 0$$

یکی از عوامل مهم در انتخاب توربین سرعت ویژه آن است. بنا بر تعریف سرعت ویژه در یک توربین عبارت است از سرعت دورانی یک توربین کاملاً مشابه با آن طوری که در بیشترین راندمان تحت تاثیر هد حقیقی مساوی یک متر توان یک اسب بخار را تولید کند. حال به کمک قوانین مدلها می توان سرعت ویژه یک توربین را از رابطه (۹) به دست آورد.

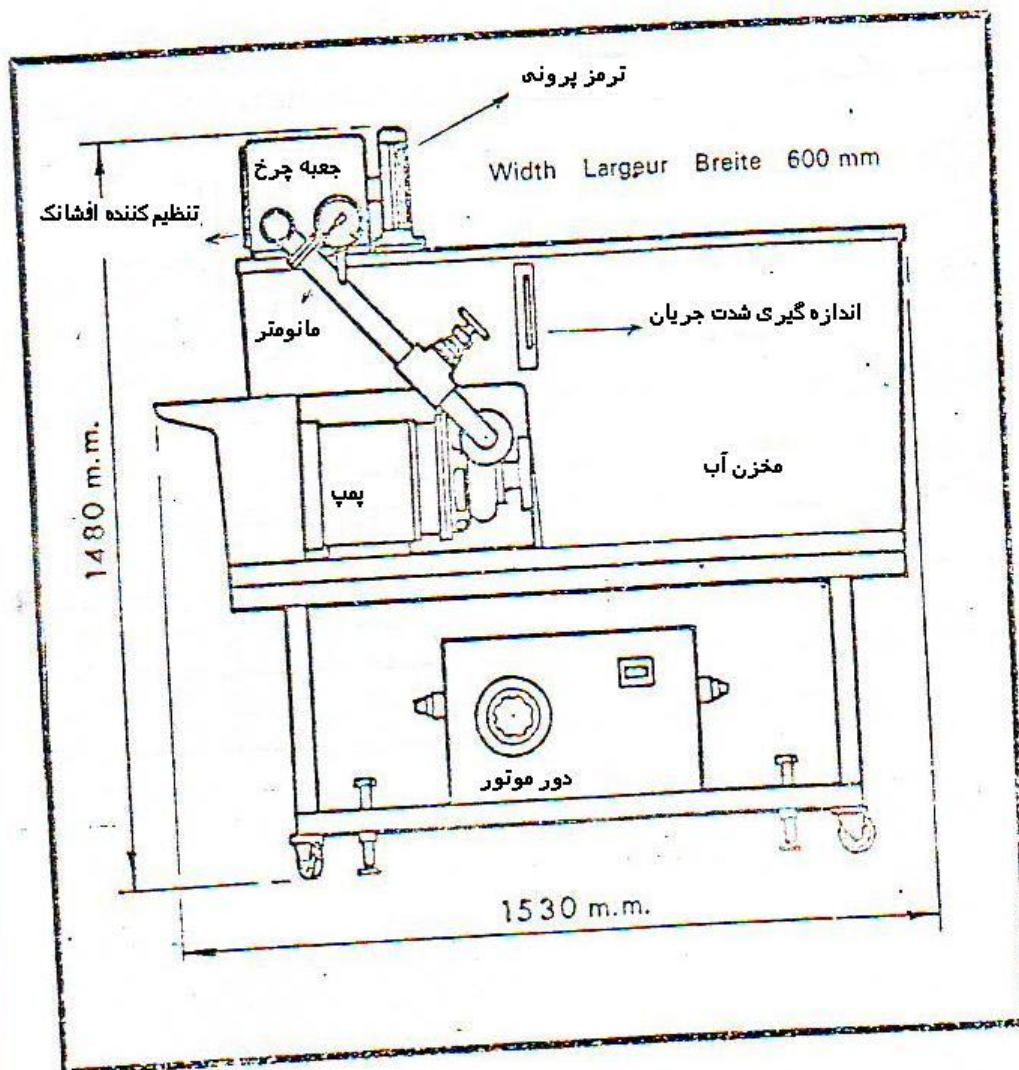
$$n_s = \frac{n\sqrt{P}}{H^{5/4}} \times cte \quad (9)$$

که در آن  $P$  همان توان تولیدی توربین است. جهت اطلاعات بیشتر به کتاب مکانیک سیالات شیمز فصل ۱۴ مراجعه نمایید.

### شرح دستگاه و روش آزمایش :

توربین پلتون از نوع توربینهای بدون عکس العمل است ، زیرا فاقد لوله مکش بوده و تحت فشار آتمسفریک عمل می کند. آب با انرژی موجود در خود که بیشتر به صورت انرژی پتانسیل است توسط یک نازل به صورت جت آب با انرژی جنبشی زیاد درآمده و بر اثر برخورد با پره هایی متصل به اطراف یک چرخ آن را به گردش در می آورد. نظر به اینکه هر چه انرژی پتانسیل آب بیشتر باشد به انرژی جنبشی بیشتری تبدیل می شود و همچنین آب خروجی از توربین هیچگونه عکس العملی بر روی آن ندارد لذا در عمل بهتر است که توربین پلتون در پایین ترین سطح ممکن نسبت به سطح هرز آب قرار گیرد.

فشار جت آب هنگام برخورد به چرخ پلتون و خروج از آن تقریباً برابر با فشار محیط است. شکل (۲) دستگاه مورد آزمایش را نشان می دهد. برای اندازه گیری لنگر گرفته شده از محور توربین از یک سیستم ترمز پرونی استفاده می شود. با تعیین نیروی این ترمز مقدار لنگر تعیین شده ( $T = Fl$ ) و سپس با اندازه گیری دور محور می توان توان گرفته شده را به دست آورد. با اندازه گیری گذر حجمی و هد آب می توان توان آب را به دست آورده و سپس راندمان توربین را تعیین نمود. تغییر سرعت جت آب توسط یک سوزن مخروطی در داخل نازل انجام می گیرد.



شکل (۲): دستگاه توربین پلتون

برای شروع آزمایش در ابتدا می بایست صفر گذر جریان آب و صفر نیروسنج تنظیم گردد. شیر کنترل جریان آب در حالت بسته و درجه افشانک را روی مقدار  $0/5$  قرار دهید. پمپ را روشن نموده و توسط کلید تغییر دور پمپ و شیر کنترل جریان ارتفاع آب را در مقدار ثابت  $12$  متر نگهدارید. سپس با بستن تدریجی ترمز پرونی مقدار گذر، دور و نیروی ترمز را در جدول (۱) یادداشت نمایید. اندازه گیری دور توسط تاکومتر یا هر دورسنج دیگری انجام می شود. عمل بستن ترمز حداقل در  $10$  مرحله از دور ماکزیمم تا دور صفر انجام گیرد.

پس از تکمیل جدول (۱) جداولی مشابه با آن برای بازشدگی درجه افشانک در مقادیر  $0/7$  و  $0/9$  در ارتفاع ثابت  $12$  متر تکمیل نمایید. سپس تمام شیرها را بسته و پمپ را خاموش کنید.

### نتایج و محاسبات :

به کمک جداول ۱، ۲ و ۳ مقادیر قدرت ورودی را بر حسب دور توربین در ارتفاع ثابت و سه بازشدگی مختلف افشانک در روی یک مقیاس رسم کنید.

قدرت خروجی را بر حسب دور برای سه حالت فوق در روی یک مقیاس رسم نمایید.  
 مقادیر راندمان را بر حسب دور برای سه حالت فوق در روی یک مقیاس رسم نمایید.  
 مقادیر گذر را بر حسب دور برای سه حالت فوق در روی یک مقیاس رسم نموده و سپس منحنی های  
 ایزو راندمان را در روی این مقیاس مشخص کنید. (در روی نقاط هر نمودار  $Q$  بر حسب  $n$  مقدار  
 راندمان را یادداشت نموده و سپس نقاط هم راندمان را به هم وصل کنید)  
 سرعت مخصوص توربین پلتون مورد آزمایش را به دست آورید.  
 خلاصه ای از آنچه آموخته اید بیان کنید و در روی نمودارهای فوق بحث نمایید. حرکت سوزن افشانک  
 در یک توربین پلتون بزرگ با دست امکان پذیر نیست. یک مدار شماتیک جهت کنترل سوزن با بار  
 گرفته شده از چرخ رسم نمایید. در حالتی که توان ماکزیمم است رابطه بین سرعت جت و  $\omega$  را به دست  
 آورید.

جدول (۱): اطلاعات آزمایش در بازشدگی .....

مقادیر اندازه گیری شده: =درجه بازشدگی			مقادیر محاسبه شده:			
			$l = 7.5cm$			
$Q(m^3/min)$	$n(RPm)$	$F(N)$	$WHP$	$T$	$BHP$	$\eta_T$

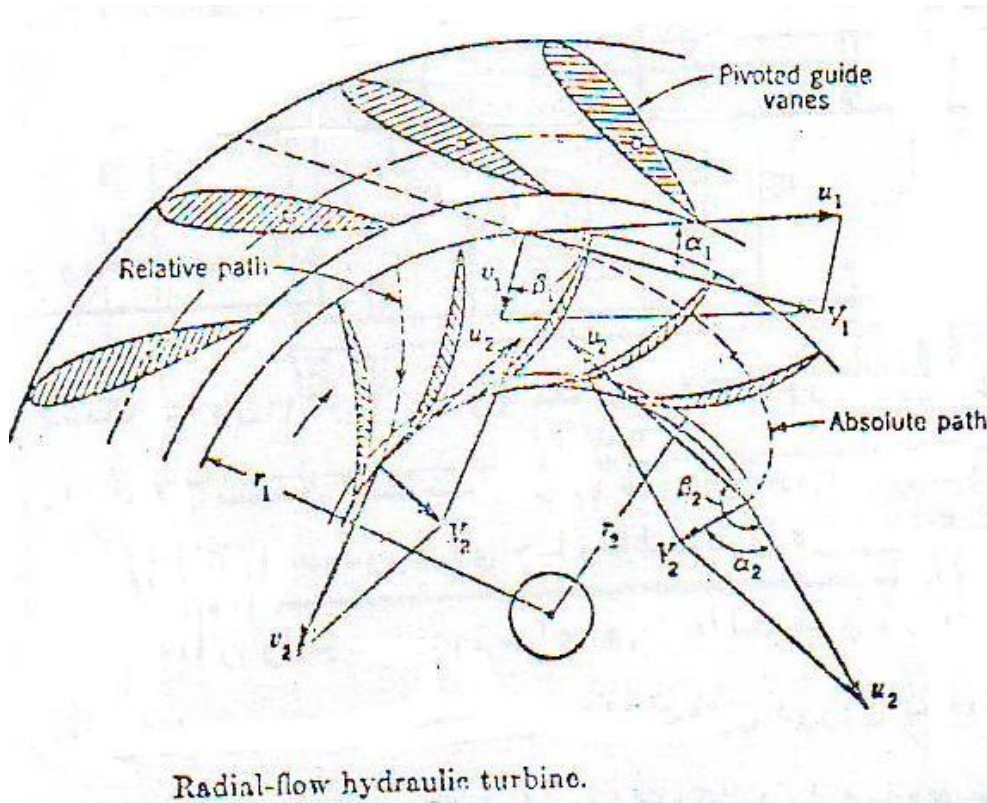
## توربین فرانسیس

### هدف آزمایش :

هدف از این آزمایش شناسایی ساختمان توربین فرانسیس و طرز کار با آن و رسم مشخص های یک توربین عکس العملی می باشد.

### تئوری آزمایش :

در توربینهای عکس العملی انرژی سیال هنگام عبور از یک چرخ گردنده به یک کوپل خروجی تبدیل می شود. سیال قبل از ورود به چرخ گردنده از میان یک سری پره های ثابت (راهنما) عبور نموده و زاویه سرعت آن به اندازه  $\theta$  تغییر جهت می یابد. اگر از اصطکاک بین سیال و پره های ثابت و همچنین آشفتگی جریان صرف نظر شود چون پره ها ثابت هستند لذا کاری بر روی سیال انجام نمی گیرد. در شکل (۱) شماتیک پره های ثابت و گردنده و همچنین مثلث سرعتها نشان داده شده است.



شکل (۱): شمای پره های ثابت و گردنده در توربین فرانسیس

اگر  $T$  کوپل خروجی چرخ گردنده باشد به کمک قانون مومنوم زاویه ای می توان دریافت:

$$T = \rho Q (r_1 V_1 \cos \alpha_1 - r_2 V_2 \cos \alpha_2) \quad (1)$$

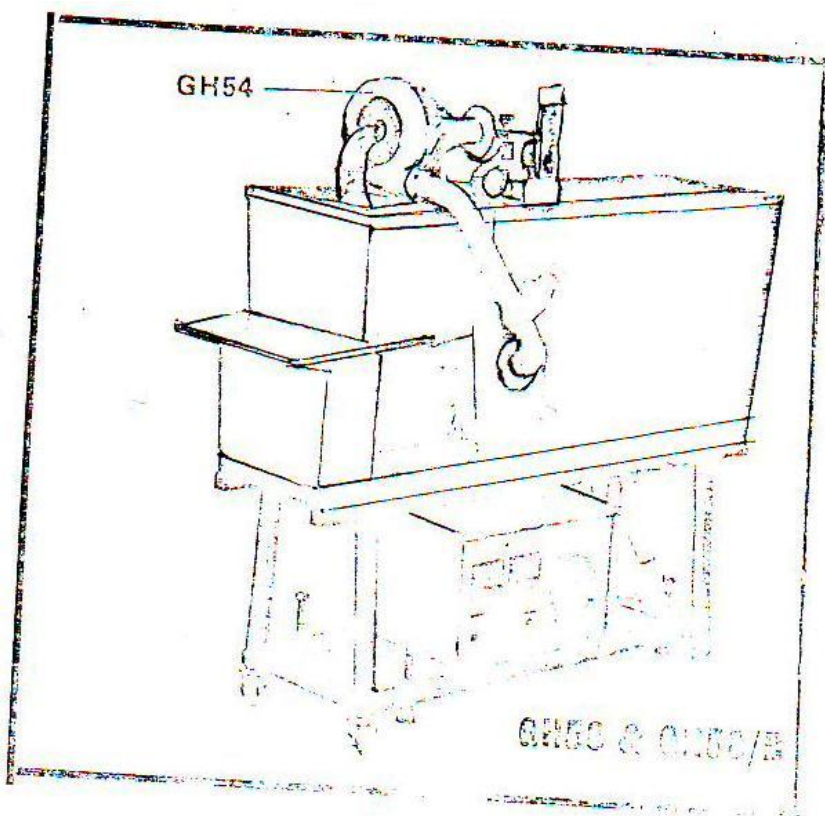
با توجه به قدرت ورودی سیال که برابر با  $\rho Q H$  است، راندمان هیدرولیکی توربین از رابطه (۲) به دست می آید.

$$\eta_T = \frac{T\omega}{\gamma QH} \quad (2)$$

در رابطه فوق  $\omega$  سرعت دورانی و  $H$  هد کل است. اگر توربین در سرعتی به غیر از سرعت طراحی شده نسبت به گذر جریان گردش کند در آن صورت سیال ورودی مماس بر پره های توربین نبوده و اتلاف بیشتر می شود. بقیه روابط همانی است که در تئوری آزمایش توربین پلتون شرح داده شده است. گرچه سیال پس از خروج از چرخ گردنده دارای مقداری انرژی است و لیکن به علت نصب لوله مکش در بعد از آن نمی توان گفت که این مقدار انرژی تلف شده است. لوله مکش به شکل مخروطی است که به تدریج از انرژی جنبشی سیال کاسته می شود. انرژی ناشی از فشار و پتانسیل در محل خروج از لوله مکش تقریباً ناچیز در نظر گرفته می شود.

### شرح دستگاه و روش آزمایش :

نمای دستگاه مورد آزمایش در شکل (۲) نشان داده شده است. پره های ثابت و گردنده به طور کامل در پوسته ای قرار دارد. قسمتی از پوسته و لوله مکش شفاف بوده و پره ها از میان آن قابل رویت هستند.



شکل (۲): دستگاه توربین فرانسیس

انرژی آب ورودی توسط یک پمپ سانتریفوژ تامین می گردد. توسط پره های ثابت (راهنما) مقدار گذر و قدرت خروجی را می توان کنترل نمود. مقدار گذر توسط یک سرریز و هد آب توسط یک فشارسنج اندازه گیری می شود. از فشار منفی خروجی صرف نظر می شود. طول بازوی ترمز نصب شده در دیسک خروجی

۰/۱۶ متر است. توسط نیروسنج جیوه ای مقدار نیروی گشتاور خروجی اندازه گیری می شود. دور توسط تاکومتر یا استروسکوپ تعیین می شود.

قبل از شروع آزمایش باید دقت نمود که صفر سرریز منطبق بر سطح آب و نیروسنج ترمز پرونی مقدار صفر را نشان دهد.

با قرار دادن زاویه پره های هادی در مقدار ثابتی پمپ را روشن نموده و شیر کنترل جریان را طوری باز کنید تا ارتفاع آب (هد) در بالای توربین مقدار ثابت ۱۰ متر را نشان دهد. در دوره های مختلف مقدار گذر و نیروی ترمز را در جدول (۱) یادداشت نمایید. در تمام مراحل که ترمز می کنید ارتفاع آب را توسط شیر کنترل جریان ثابت نگه دارید. آزمایش فوق را در حداقل ۱۰ مرحله انجام دهید.

حال پره های هادی را در ۲ زاویه دیگر قرار داده و جداولی مشابه جدول ۱ را تکمیل نمایید.

جدول (۱): اطلاعات آزمایش در زاویه پره راهنما

$H =$		مقادیر اندازه گیری شده: =درجه بازشدگی		مقادیر محاسبه شده: $l = 15cm$		
$Q(m^3/min)$	$n(RPm)$	$F(N)$	$WHP$	$T$	$BHP$	$\eta_T$

### نتایج و محاسبات :

پس از تکمیل ۳ جدول فوق به خواسته های زیر پاسخ دهید:

۱- تغییرات گذر حجمی را بر حسب دور در هد و زاویه پره راهنما ثابت در یک مختصات رسم نمایید.

۲- تغییرات قدرت خروجی ( $BHP$ ) را بر حسب دور در یک مختصات رسم نمایید.

۳- تغییرات قدرت ورودی آب ( $WHP$ ) را بر حسب دور در روی یک مختصات رسم نمایید.

۴- تغییرات گشتاور محور توربین بر حسب دور را در روی یک مختصات رسم نمایید.

- ۵- تغییرات راندمان کل بر حسب دور را در روی یک مختصات رسم نمایید.
- ۶- منحنی های ایزو راندمان را در روی نمودارهای رسم شده دسته اول رسم نمایید.  
علت نصب لوله مکش به فرم مخروطی در توربینهای عکس العملی چیست؟ نقش پره های راهنما در توربین چیست؟
- ۷- روی تغییرات منحنی های فوق بحث نموده و سرعت مخصوص توربین فوق را به دست آورید.



## توربین و پمپ جریان محوری

### هدف آزمایش :

هدف از این آزمایش آشنایی با ساختمان و طرز کار و کارایی ماشین آبی جریان محوری با تیغه های متغیر الزاویه به عنوان توربین یا پمپ و همچنین رسم منحنی های مشخصه پمپ و توربین جریان محوری می باشد. چگونگی پیدایش پدیده کاویتاسیون در لبه تیغه ها بر اثر دور زیاد یا تغییر زوایای تیغه ها را می توان توسط این آزمایش مشاهده نمود.

### تئوری آزمایش :

مطالعه تئوریک جریان محوری برای حالتی که دستگاه به عنوان پمپ یا توربین عمل می کند به طور جداگانه انجام می گیرد. در هر حالت دستگاه، ابتدا جریان آب را ایده آل در نظر گرفته و سپس روابطی اصلاح شده برای شرایط حقیقی معرفی می گردد.

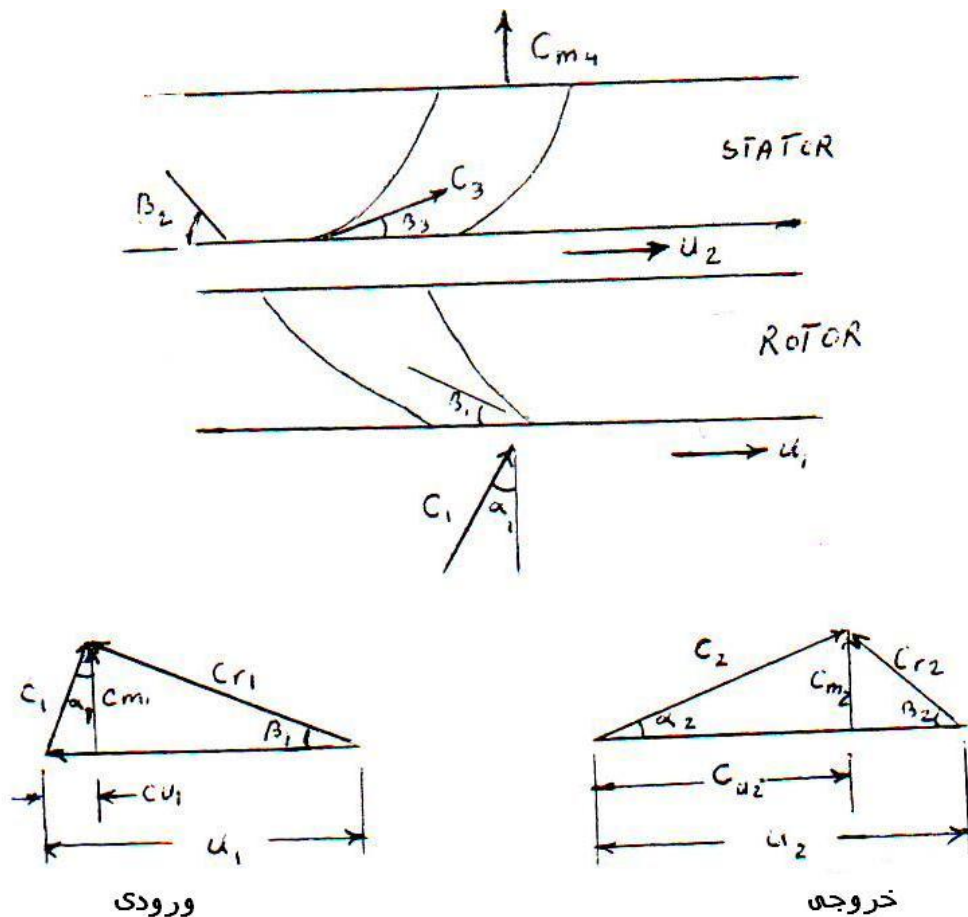
**الف- بررسی جریان از یک پمپ محوری:** پمپ محوری از ۳ قسمت اصلی تشکیل شده است لوله خارجی، توپی گردان متصل به محور موتور با تعدادی تیغه نصب شده روی آن و سیستم دیفیوزر در جریان پایین دست پمپ اجزای اصلی می باشند. توسط چرخش توپی پمپ، سیال به میان تیغه ها کشیده شده و با تغییر مقدار حرکت زاویه ای آن انرژی را جذب می نماید. عمل دیفیوزر بعد از توپی کاهش سرعت گردابی سیال و نتیجتاً افزایش فشار معادل با انرژی چرخشی در پایین دست جریان می باشد.

شکل (۱) دو تیغه نصب شده روی توپی و دیفیوزر را نشان می دهد. با فرض اینکه سیال ورودی به پمپ با سرعت چرخشی وارد شود می توان نتیجه گرفت که هد تئوری ایجاد شده توسط پمپ در اثر تغییرات مقدار حرکت زاویه ای سیال می باشد یعنی:

$$H_i = \frac{1}{g}(u_2 C_{u2} - u_1 C_{u1}) \quad (1)$$

که برای پمپ جریان محوری رابطه  $u_1 = u_2 = u$  برقرار است و لذا

$$H_i = \frac{u}{g}(C_{u2} - C_{u1}) \quad (2)$$



شکل (۱): مثلثهای سرعت پمپ جریان محوری

رابطه (۱) معروف به رابطه اولر است و برای تمام توربوماشینها صادق می باشد. رابطه (۲) مختص ماشینهای جریان محوری است. اگر جریان ورودی به پمپ بدون سرعت چرخشی باشد، مقدار  $C_{u1}$  برابر با صفر شده و لذا رابطه (۲) به صورت زیر ساده می شود.

$$H_i = \frac{u C_{u2}}{g} \quad (۳)$$

با بررسی مثلث سرعتها در شکل (۱) می توان نتیجه گرفت:

$$C_{u2} = C_{m2} \cot \alpha_2 = u_2 - C_{m2} \cot \beta_2 \quad (۴-الف)$$

$$C_{u1} = C_{m1} \cot \alpha_1 = u_1 - C_{m1} \cot \beta_1 \quad (۴-ب)$$

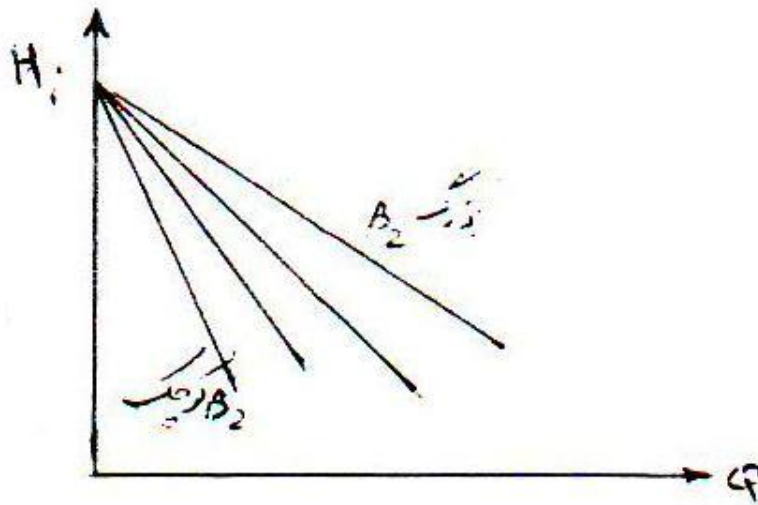
اگر سیال عبوری از پمپ غیر قابل تراکم باشد و همچنین مقاطع جریان در قسمت ورودی و خروجی قسمت گردنده پمپ یکسان باشد می توان برای سرعت مقدار متوسطی در نظر گرفت. یعنی پس  $C_{m1} = C_{m2} = C_m$

$$H_i = \frac{u}{g} (u_2 - C_m \cot \beta_2) = \frac{u}{g} (u - C_m \cot \beta_2) \quad (۵)$$

نظر به اینکه گذر حجمی متناسب با  $C_{m1}$  است و برای زاویه تیغه های معین  $\cot \beta_2$  ثابت می باشد. لذا رابطه (۵) را می توان به صورت زیر ساده نمود.

$$H_i = \frac{u}{g} (u - KQ) \quad (۶)$$

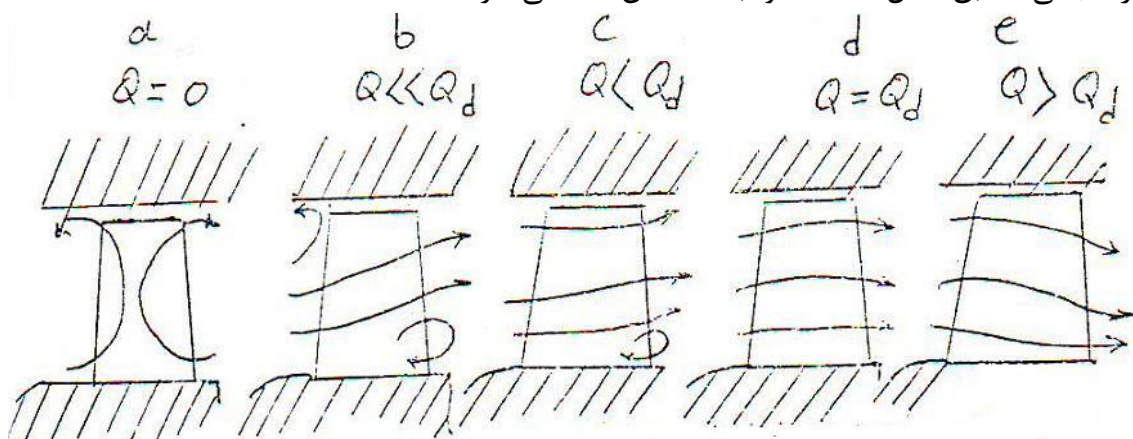
به کمک رابطه (۶) می توان تغییرات هد ایده آل را بر حسب  $Q$  به ازای مقادیر مختلف  $\beta_2$  به صورت شکل (۲) در نظر گرفت. بدیهی است که با کاهش زاویه  $\beta_2$  مقدار  $K$  افزایش می یابد.



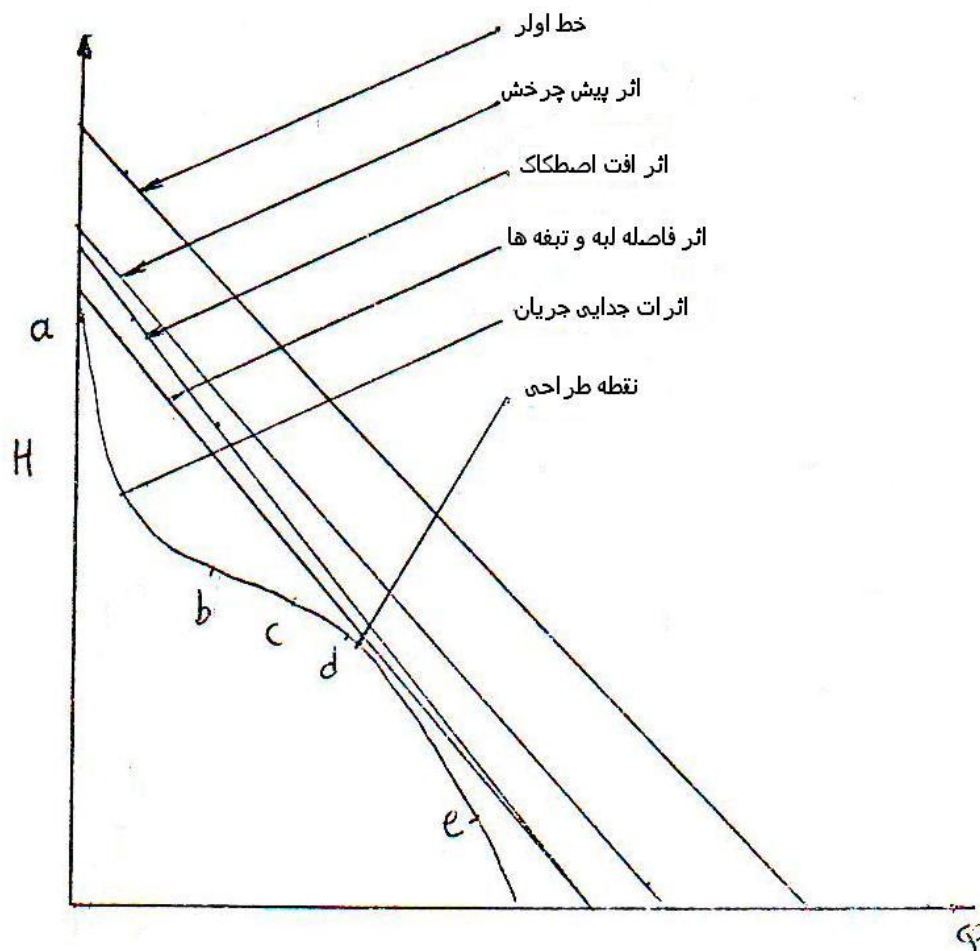
شکل (۲): تغییرات هد ایده آل بر حسب گذر حجمی برای پمپ جریان محوری بدون سرعت چرخشی اولیه

به هر حال می توان دریافت که برای دبی حجمی صفر مقدار هد ایده آل برای تمام مقادیر  $\beta_2$  یکسان بوده و برابر با  $\frac{u^2}{g}$  می باشد.

باید توجه نمود که در مطالعه تئوری فوق شرایط ایده آل جریان در نظر گرفته شده است. یعنی زاویه تیغه ها طوری است که جدایی جریان وجود ندارد و همچنین سیستم دیفیوزر کل انرژی جنبشی را به فشار بدل می نماید و لیکن در شرایط حقیقی جریان متناسب با شرایط مختلف تغییرات هد بر حسب گذر حجمی مطابق شکل (الف-۳) و (ب-۳) نشان داده می شود.



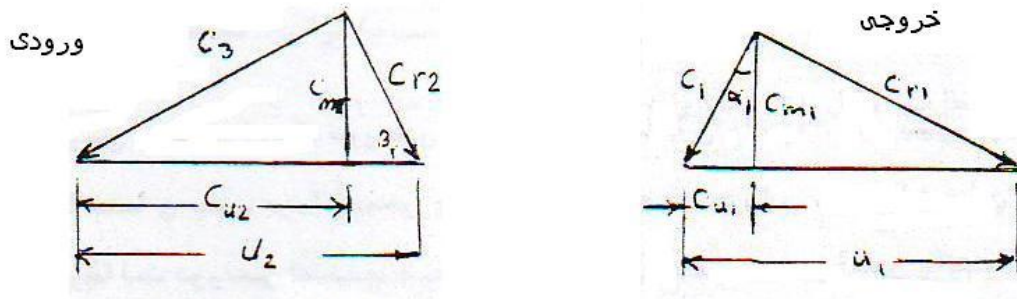
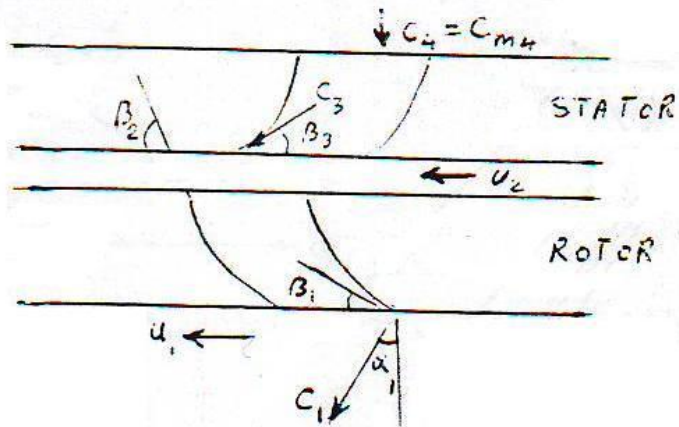
شکل (الف-۳): مسیر جریان از میان پره های گردنده



شکل (ب-۳): انحراف واقعی  $H$  بر حسب  $Q$

ب- بررسی جریان از یک توربین محوری: ساختمان و اجزای توربین جریان محوری مشابه ساختمان پمپ جریان محوری است و لیکن جهت جریان سیال از میان تیغه ها برعکس می باشد. در حالت توربین سیستم دیفیوزر به عنوان مجموعه پره های راهنما برای ورود سیال عمل می کند. می توان فرض کرد که در شرایط ورودی فشار یکسان و جریان غیر چرخشی می باشد. در شکل (۴) مثلث سرعتها نشان داده شده است. با بررسی تغییرات انرژی می توان دریافت که هد جریان هنگام عبور از توربین افت پیدا نموده و باعث پیدایش قدرت خروجی توربین می شود. یعنی :

$$H_i = \frac{1}{g} (u_2 C_{u2} - u_1 C_{u1}) \quad (7)$$



شکل (۴): مثلثهای سرعت برای توربین جریان محوری

مطابق آنچه که برای پمپ جریان محوری در پیش گفته شد رابطه  $u_2 = u_1 = u$  برای توربین جریان محوری هم صادق است و لذا:

$$H_i = \frac{u}{g} (C_{u2} - C_{u1}) \quad (8)$$

از آنجایی که در حالت عملکرد به عنوان پمپ مهمترین مشخصه های مورد بررسی هد تولیدی بر حسب گذر حجمی (در دور ثابت) است، در حالت توربین بررسی اولیه نشان می دهد که قدرت تولیدی مناسب با سرعت اولیه (در هد ثابت) می باشد و گذر حجمی از اهمیت دوم برخوردار است از نظر تئوری قدرت خروجی در اثر تغییرات انرژی پتانسیل در یک توربین از رابطه (۹) قابل محاسبه است.

$$P_T = 9.81 \frac{\rho Q H}{1000} = \frac{\gamma Q H}{1000} \quad (KW) \quad (9)$$

که در آن  $H$  افت هد بر حسب متر سیال و  $\rho$  جرم مخصوص بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب و  $Q$  گذر حجمی بر حسب متر مکعب در ثانیه می باشد. عملاً قدرت واقعی خروجی توربین کمتر از آن چیزی است که از رابطه (۹) به دست می آید قدرت خروجی واقعی را می توان از رابطه (۱۰) به دست آورد.

$$P_0 = \eta_H P_T \quad (10)$$

که در آن  $\eta_H$  راندمان هیدرولیکی توربین می باشد. توسط دستگاه مورد آزمایش مشخصه های دیگر جریان قابل اندازه گیری است که قبلاً با این مشخصه ها آشنا می شویم. این مشخصه ها عبارتند از:

$P_1$  = فشار نسبی ورودی سیال به پمپ یا خروجی از توربین بر حسب بار ( $kgf/cm^2$ )

$P_2$  = فشار نسبی دماغه پمپ یا خروجی از توربین بر حسب بار

$P_3$  = فشار نسبی لبه ورودی (لبه حمله) پره پمپ یا لبه خروجی (لبه فرار) توربین بر حسب بار

$P_4$  = فشار نسبی در قسمت مرکزی پره ها بر حسب بار

$P_5$  = فشار نسبی در خروجی پره پمپ یا در ورودی پره توربین بر حسب بار

$P_6$  = فشار نسبی ورودی به سیستم دیفیوزر پمپ یا خروجی از تیغه راهنمای توربین بر حسب بار

$P_7$  = فشار نسبی خروجی سیال از پمپ یا ورودی سیال به توربین بر حسب بار

$N$  = سرعت دورانی پره های پمپ یا توربین بر حسب دور در دقیقه ( $RPM$ )

$F$  = نیروی گشتاور بر حسب نیوتن

$Q$  = گذر حجمی بر حسب لیتر در ثانیه

$V$  = ولتاژ

$A$  = آمپر

بدیهی است برای به دست آوردن فشار مطلق در هر نقطه می بایست از رابطه زیر استفاده شود.

$$P'_i = P_i + P_a \quad (11)$$

که در آن  $P_a$  فشار اتمسفریک می باشد. برای به دست آوردن نسبت فشار بین نقاط می بایست از فشار مطلق استفاده شود. مثلا نسبت ورودی تیغه پمپ برابر با  $P'_3/P'_1$  است.

برای به دست آوردن هد کلی پمپ یا افت هد در توربین ( $\Delta H$ ) از رابطه (۱۲) استفاده می شود.

$$\Delta H = P_7 - P_1 = 10.194(P_7 - P_1) \text{ mH}_2\text{O} \quad (12)$$

برای محاسبه قدرت مکانیکی ( $W_m$ ) به کار رفته در پمپ یا تولید شده توسط توربین از رابطه (۱۳) استفاده می شود.

$$W_m = \frac{2\pi NT}{60} \quad (13)$$

که در آن  $T$  گشتاور بازوی موتور است. با توجه به طول بازوی متصل به موتور دستگاه می توان نوشت.

$$T = 0.178F \text{ N.m} \quad (14)$$

قدرت الکتریکی ورودی به پمپ یا قدرت الکتریکی تولید شده توسط توربین از رابطه (۱۵) قابل محاسبه است.

$$W_e = V.A \text{ (W)} \quad (15)$$

راندمان پمپ از رابطه (۱۶) محاسبه می گردد.

$$\eta_p = \frac{9.81\rho Q\Delta H}{1000W_m} \quad (16)$$

راندمان کلی الکتریکی توربین و راندمان کلی مکانیکی توربین به ترتیب از روابط (۱۷) و (۱۸) قابل محاسبه است.

$$\eta_{Tc} = \frac{1000W_e}{9.81\rho Q\Delta H} \quad (17)$$

$$\eta_{Tm} = \frac{1000W_m}{9.81\rho Q\Delta H} \quad (18)$$

دقت شود که در روابط فوق گذر حجمی بر حسب لیتر در ثانیه، جرم مخصوص ( $\rho$ ) بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب و  $\Delta H$  بر حسب متر آب است.

### شرح دستگاه و روش آزمایش :

دستگاه مورد آزمایش مطابق شکل (۵) از قسمت‌های مختلف تشکیل شده است:

- ۱- دماغه پمپ محوری یا توربین محوری
  - ۲- پره های پمپ یا توربین که زاویه شیب آنها قابل تنظیم است
  - ۳- پره های سیستم دیفیوزر یا پره های راهنمای(هادی) توربین که قابل تنظیم می باشند.
  - ۴- موتور پمپ یا ژنراتور توربین که مجهز به بازوی اندازه گیری گشتاور می باشد.
  - ۵- ۶-۷- شیرهای اهرم دار برای انتخاب مسیر آب
  - ۸- پمپ سانتریفوژ برای انرژی دادن به آب هنگامی که دستگاه به عنوان توربین عمل می کند.
  - ۹- کلید اولیه روشن کردن دستگاه
  - ۱۰- ولت متر و آمپر متر
  - ۱۱- کلید گردان برای تنظیم دور
  - ۱۲- فشارسنج‌های مختلف
  - ۱۳- دورسنج دیجیتالی
  - ۱۴- نشان دهنده گذر حجمی
  - ۱۵- استروبوکوپ برای تعیین دور یا مشاهده پدیده کاویتاسیون در روی تیغه ها
  - ۱۶- پیچ گردان برای تغییر زوایای پره های پمپ یا توربین
  - ۱۷- بازوی اندازه گیری گشتاور
  - ۱۸- کلید انتخاب موتور یا ژنراتور. برای آزمایش پمپ می بایست این کلید را روی موتور و برای آزمایش توربین روی ژنراتور قرار گیرد.
  - ۱۹- کلید روشن نمودن پمپ سانتریفوژ برای آزمایش توربین
- قبل از شروع آزمایش لازم است که تنظیم اولیه و خارج نمودن حبابهای هوا از دستگاه توسط کارکنان آزمایشگاه انجام گیرد. سپس به ترتیب زیر آزمایش پمپ را شروع می کنیم.
- کلید شماره (۱۸) را در وضعیت موتور قرار دهید.
  - کلید ولت متر و آمپر متر را در وضعیت بالاتر قرار دهید(در صورت داشتن چنین کلیدی).
  - شیرهای شماره ۵، ۶ و ۷ را به طور کامل باز کنید.
  - کلید برق سه فاز را در وضعیت روشن قرار دهید.
  - کلید جعبه کنترل را در وضعیت روشن قرار دهید.
  - زاویه تیغه های دیفیوزر را توسط پیچهای جانبی در وضعیت مناسب قرار دهید.

- زاویه تیغه های قسمت گردنده را توسط پیچ شماره (۱۶) در وضعیت مناسب قرار دهید.
- کلید گردان شماره (۱۱) را در وضعیت مناسب قرار دهید (دور در حدود ۳۰۰۰ دور در دقیقه).
- توسط بستن شیر اهرم دار شماره (۵) ، فشار بعد از پمپ (فشار تخلیه) را تنظیم نمایید.
- در دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه برای ۴ یا ۵ فشار تخلیه مختلف انجام دهید. مجموعه زوایای مناسب برای تیغه های گردنده و دیفیوزر به صورت زیر پیشنهاد می شود.

زاویه پره های گردنده  $\alpha =$

زاویه تیغه های دیفیوزر  $\beta =$

$10^0$	$+10^0$	$0^0$	$-10^0$
$20^0$	$+10^0$	$0^0$	$-10^0$
$30^0$	$+10^0$	$0^0$	$-10^0$

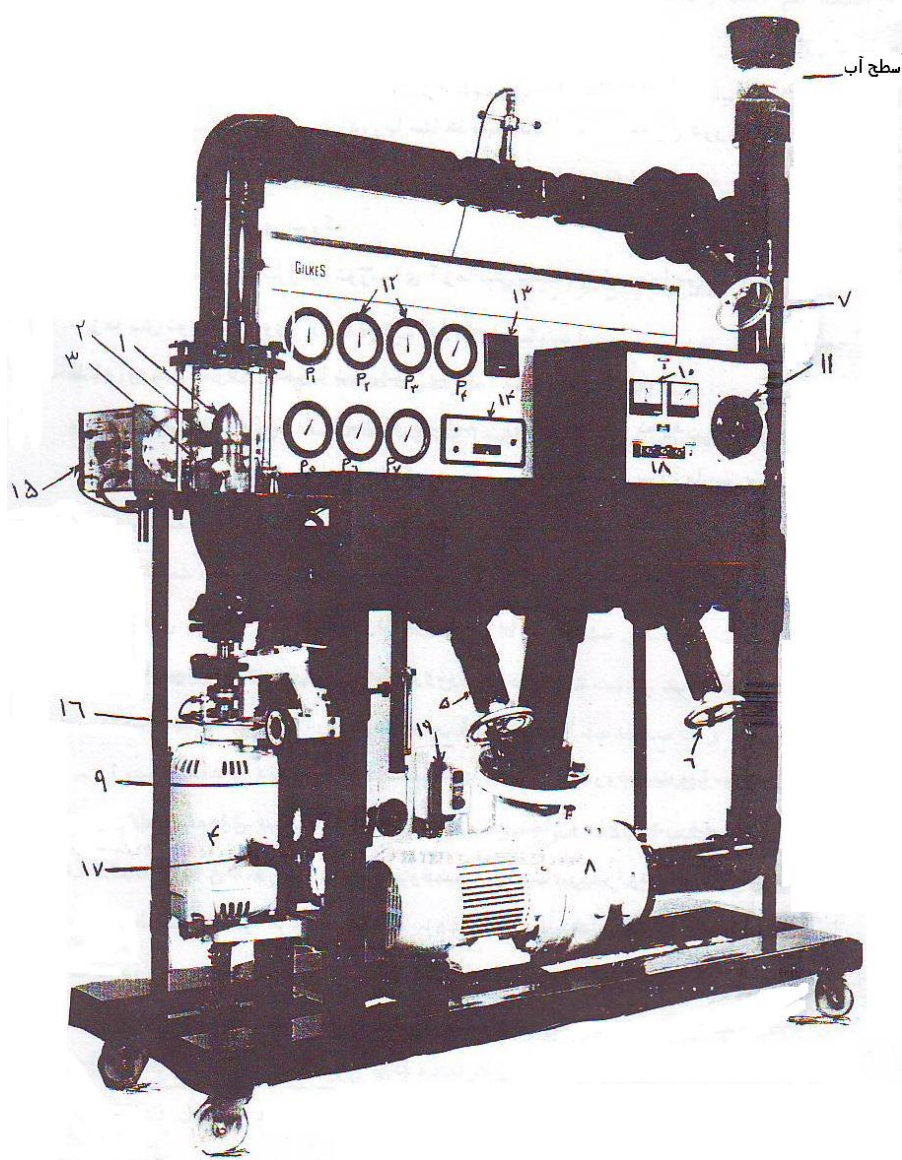
برای دور و زاویه تیغه های ثابت در فشارهای تخلیه مختلف ، مقادیر فشار  $P_1$  تا  $P_7$  ، گذر حجمی و نیروی گشتاور را یادداشت نمایید. می توان این آزمایش را در دورهای ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ دور در دقیقه هم انجام داد.

برای آزمایش توربین مراحل زیر را انجام دهید.

- کلید شماره (۱۸) را در وضعیت ژنراتور قرار دهید.
- شیر اهرم دار شماره (۶) را کاملا بسته و شیرهای اهرم دار شماره (۵) و (۷) باید کاملا باز باشند.
- کلید سه فاز را در وضعیت روشن قرار دهید.
- کلید جعبه کنترل جریان برق را در وضعیت روشن قرار دهید.
- زوایای تیغه های راهنما و قسمت گردنده را در وضعیت مناسب قرار دهید. مجموعه زوایای را که برای پمپ پیشنهاد شده است ، برای شرایط افت فشار ثابت می توان به کار برد.
- موتور پمپ سانتریفوژ را روشن نمایید.
- کلید گردان جعبه کنترل جریان برق را در دور مناسب قرار دهید.
- برای تغییر فشار ورودی به توربین با شیر اهرم دار شماره (۵) تنظیم نمایید.
- تحت افت فشار ثابت و زوایای تیغه های ثابت مقادیر فشار  $P_1$  تا  $P_7$  ، گذر حجمی و نیروی گشتاور را یادداشت نمایید. دقت شود که جریان الکتریکی تولید شده و دور باید در افت فشار و زوایای تیغه های ثابت به دست آیند. مقادیر افت فشار ۰/۱۴ ، ۰/۱۸ و ۰/۲۲ بار نتایج مطلوبی را ارائه می دهند.

برای مشاهده پدیده کاویتاسیون در این آزمایش از استروبوکوپ استفاده می شود. برای مشاهده پدیده کاویتاسیون در پمپها در دور ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ و برای مشاهده پدیده کاویتاسیون در توربینها دورهای پایینتر مناسب می باشند.



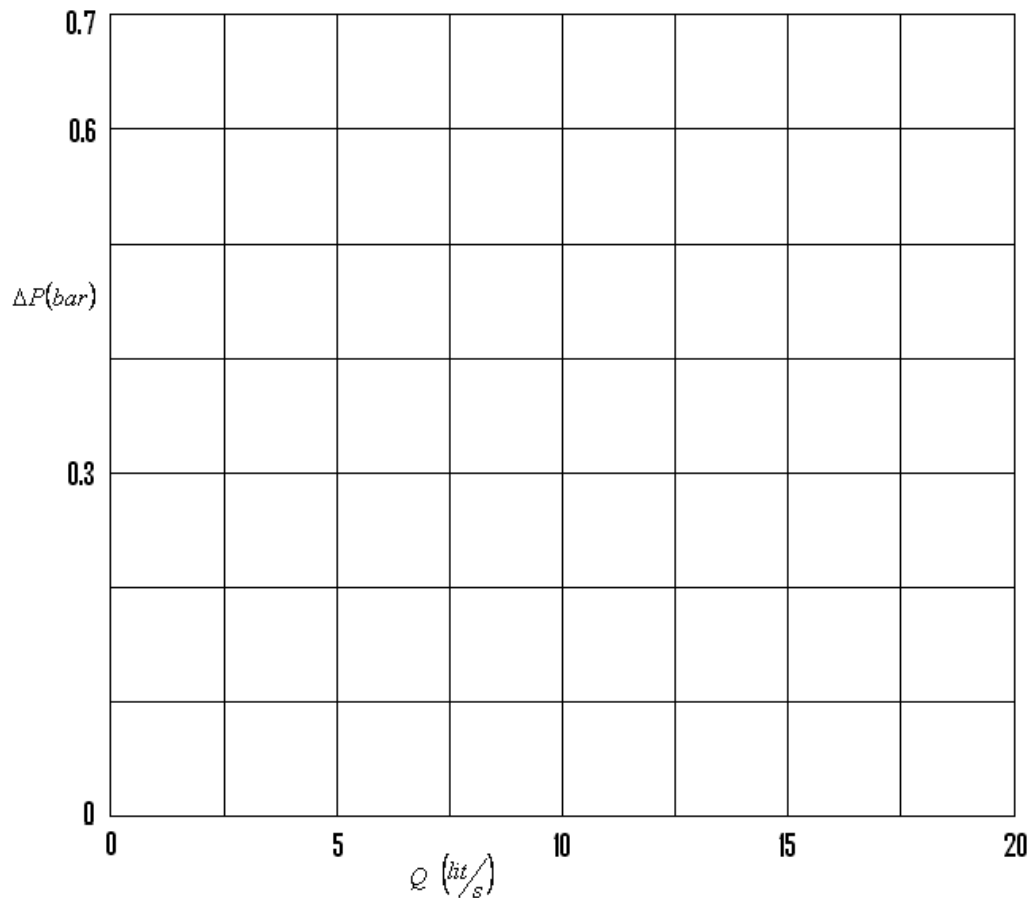


شکل (۵): نمای دستگاه جریان محوری

$$N =$$

$$\alpha =$$

$$\beta =$$



مختصات (۱): رسم  $\Delta p$  بر حسب  $Q$  ( $\alpha = 10^0$ ): سه نمودار به ازای سه مقدار  $\beta$   
 مختصات (۲): رسم  $\Delta p$  بر حسب  $Q$  ( $\alpha = 20^0$ ): سه نمودار به ازای سه مقدار  $\beta$   
 $\beta = -10^0 \quad \beta = 0^0 \quad \beta = 10^0$

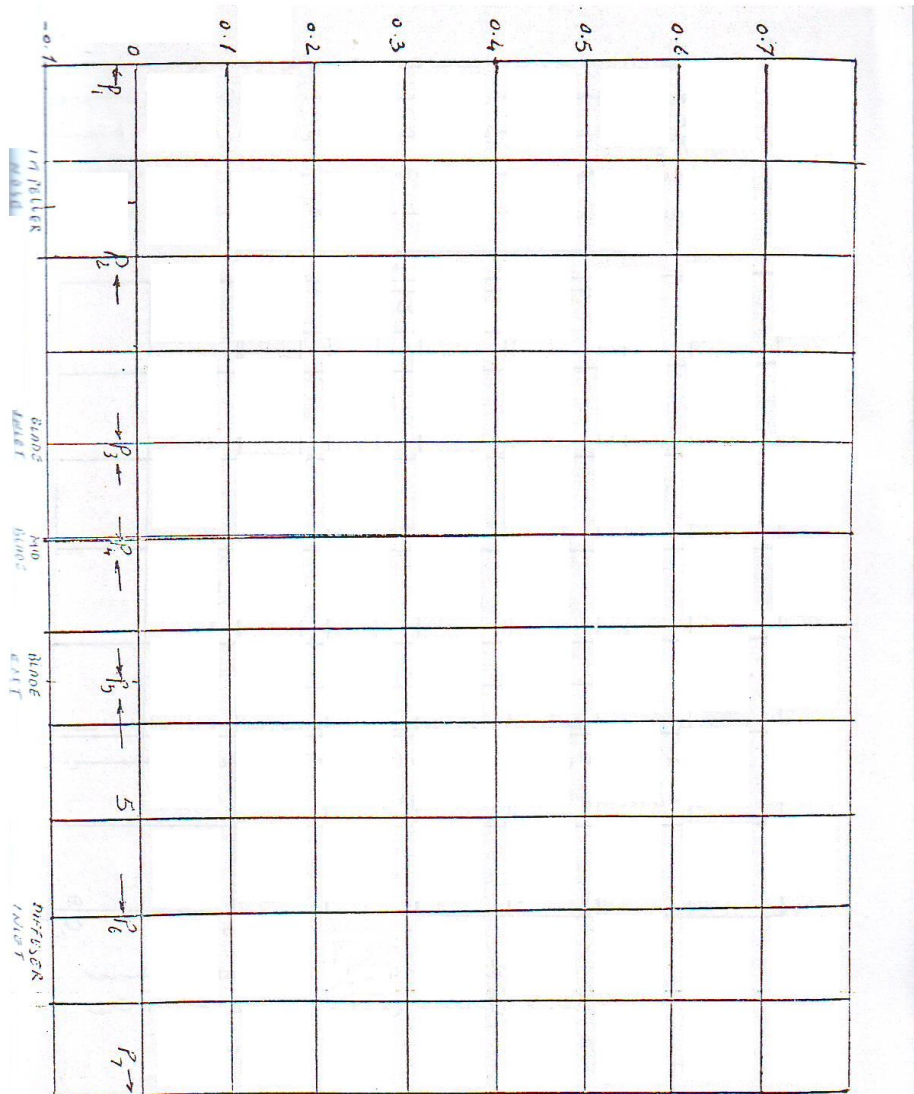
### نتایج و محاسبات:

الف - نتایج حاصل از آزمایش پمپ جریان محوری: در سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه و با قرار دادن زاویه تیغه های گردنده ( $\alpha$ ) در ۱۰ درجه و مقدار زاویه دیفیوزر ( $\beta$ ) در ۲۰- درجه ، شیر اهرم دار شماره (۵) را به تدریج بسته و جدول (۱) را کامل کنید سپس در همان دور و همان زاویه  $\alpha$  مقدار  $\beta$  را در صفر و ۲۰+ درجه قرار داده و مطابق جدول (۱) نتایج را یادداشت نمایید. نتایج حاصل از سه جدول فوق را در مختصات (۱) به صورت سه منحنی جداگانه در یک مختصات رسم نمایید. سه جدول دیگر مطابق فوق تشکیل داده و در سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه و زاویه های گردنده ( $\alpha$ ) در ۲۰ درجه و مقدار زاویه دیفیوزر در ۲۰-، صفر و ۲۰+ کامل نمایید. نتایج حاصل از این سه جدول را به صورت سه نمودار در مختصات (۲) که مشابه با مختصات (۱) است رسم نمایید.

جدول (۱): تغییرات افت فشار بر حسب  $Q$

$N =$		$\alpha =$	$\beta =$
$P_1$ (bar)	$P_7$ (bar)	$Q$ (lit/s)	$\Delta P$ (bar)

در سه گذر حجمی مختلف صفر، ۸ و ۱۶ لیتر در ثانیه فشار نقاط ۱ تا ۷ را یادداشت نموده و سه نمودار مختلف را در مختصات (۳) رسم نمایید. سعی شود که این سه نمودار در همان دور قبلی اندازه گیری و رسم شود.



مختصات (۳): تغییرات فشار هنگام عبور از پمپ محوری

ب- نتایج حاصل از آزمایش توربین جریان محوری: با قرار دادن زاویه تیغه گردان، برابر با ۲۰ درجه و زاویه تیغه دیفیوزر برابر با ۲۰ درجه در سرعت‌های ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ دور در دقیقه مقادیر  $P_1$  تا  $P_7$  را بر حسب محل فشار در مقیاسی مشابه با مقیاس (۳) رسم نمایید. در مرحله دیگر آزمایش توربین زاویه تیغه‌های گردان را در مقدار ۲۰ درجه و زاویه پره‌های راهنما را به مقدار ۲۰- درجه قرار داده و سپس توسط تنظیم شیر اهرم دار شماره (۵) مقدار افت فشار را برابر مقدار ثابت ۰/۲۲ قرار می‌دهیم. حال با این مقدار ثابت افت فشار ( $\Delta P$ ) و تغییر دادن دور توربین توسط کلید گردان جدول (۲) را کامل نمایید. تغییرات گذر حجمی بر حسب دور را رسم کنید. تغییرات راندمان

الکتریکی ( $\eta_{Te}$ ) را بر حسب دور رسم نمایید. آزمایش فوق را با تغییر دادن زاویه پره راهنما از  $20^\circ$  - درجه به صفر درجه تکرار نمایید و نمودارهای خواسته شده را رسم کنید. سپس مقدار زاویه پره راهنما را در مقدار  $20^\circ$  + درجه قرار داده و مجدداً نمودارهای خواسته شده را رسم نمایید و به سوالات زیر پاسخ دهید. در چه شرایطی از هد و گذر حجمی توربین جریان محوری مناسبتر می باشد. محدوده کارایی پمپهای جریان محوری را توضیح دهید. پدیده کاویتاسیون را در پمپها و توربینهای جریان محوری به چه صورت کنترل می کنند. عمده ترین پارامترهای موثر در پیدایش پدیده کاویتاسیون چیست؟ شرایط پیدایش پدیده کاویتاسیون چیست؟

جدول (۲): نتایج حاصل از توربین جریان محوری

$\alpha = 20 \begin{cases} \beta = -10 \\ \beta = 0 \\ \beta = +10 \end{cases} \quad \begin{matrix} \Delta P = 0.22 \\ \Delta H = 10.194 \times \Delta P \end{matrix}$					
$Q \left( \frac{\text{lit}}{s} \right)$	$N$	$V$	$A$	$W_e (W)$	$\eta_{Te}$