

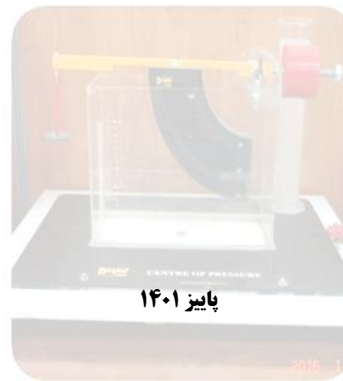


دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی



دستور کار

آزمایشگاه مکانیک سیالات



فهرست مطالب

صفحه

۱	مقررات و نحوه ارزشیابی نمره نهایی
۴	آزمایش ونتوری متر
۱۰	آزمایش افت فشار اصطکاکی در لوله مستقیم
۱۶	آزمایش جریان درون یک اوریفیس
۲۱	آزمایش پمپ گریز از مرکز
۲۸	آزمایش نیروی برخورد جت آب
۳۳	آزمایش وسایل اندازه گیری دبی (ونتوری متر - اوریفیس - روتامتر)
۴۱	آزمایش سرریز
۴۷	آزمایش کاویتاسیون
۵۰	آزمایش مرکز فشار
۵۵	آزمایش افت جزئی (موضعی)
۶۶	آزمایش پمپ های سری و موازی
۷۲	آزمایش توربین پلتون
۷۸	پیوست یک (میز هیدرولیک)
۷۹	پیوست دو (اثبات معادله برنولی)

مقررات و نحوه ارزشیابی نمره نهایی

به منظور ایجاد نظم و ترتیب جهت بهبود وضعیت آموزش و رعایت عدالت در ارزشیابی نهایی دانشجویان در آزمایشگاه مکانیک سیالات مقرراتی به شرح زیر اجرا می گردد. لازم است که دانشجویان در ابتدای نیم سال تحصیلی به مقررات زیر توجه نموده تا با نحوه ارزشیابی خود در پایان نیمسال آشنا شوند.

۱. درس آزمایشگاه سیالات طبق برنامه آموزش دانشکده راس ساعت شروع شده و بعد از حدود دو ساعت پایان می یابد.
۲. در اولین جلسه آزمایشگاه دانشجویان به انتخاب خود به گروه های سه یا چهار نفره تقسیم شده و در تمام مدت نیم سال با هم آزمایش های تعیین شده را انجام می دهند، توصیه می شود دانشجویانی که با هم ارتباط و آشنایی بیش تری دارند یک گروه تشکیل دهند.
۳. هر گروه به انتخاب خود می تواند گزارش کار 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 بودن نمره گزارش فقط برای تهیه کننده گزارش محسوب خواهد شد و هر کدام از اعضای گروه ترجیحاً گزارش های مشخص شده در جدول زیر را تهیه کنند.

جدول ۱- عناوین پیشنهادی جهت نوشتن گزارش های انفرادی گروه های چهار نفره

افراد گروه	گزارش اول	گزارش دوم	گزارش سوم
نفر اول	وسایل اندازه گیری دبی	سرریز	تحقیق توربین
نفر دوم	ونتوری متر	پمپ سری و موازی	اوریفیس
نفر سوم	افت موضعی	کاویتاسیون	ضربه جت
نفر چهارم	مرکز فشار	پمپ گریز از مرکز	افت در لوله مستقیم

جدول ۲- عناوین پیشنهادی جهت نوشتن گزارش های انفرادی گروه های سه نفره

افراد گروه	گزارش اول	گزارش دوم	گزارش سوم	گزارش چهارم
نفر اول	وسایل اندازه گیری دبی	سرریز	مرکز فشار	پمپ سری و موازی
نفر دوم	ونتوری متر	پمپ گریز از مرکز	اوریفیس	افت در لوله مستقیم
نفر سوم	افت موضعی	کاویتاسیون	ضربه جت	تحقیق توربین

۴. دانشجویان باید تحویل گزارش کار خود را به تأیید مسئولین آزمایشگاه برسانند.

۵. آزمایش‌ها برای گروه‌های مختلف به ترتیب مشخص شده در جدول زیر انجام می‌گردد و دانشجویان می‌بایست قبل از حضور در آزمایشگاه مطالب مربوط به آن آزمایش را مطالعه کنند.

جدول ۳- ترتیب انجام آزمایش‌ها برای گروه‌های مختلف

هفته گروه	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم
اول	آزمایشگاه	افت در لوله مستقیم ضربه جت	افت موضعی	سرریز کاویتاسیون	پمپ سری و موازی پمپ گریز از مرکز	مرکز فشار اوریفیس	ونتوری متر وسایل اندازه‌گیری دبی
		سرریز کاویتاسیون	افت در لوله مستقیم ضربه جت	افت موضعی	ونتوری متر وسایل اندازه‌گیری دبی	پمپ سری و موازی پمپ گریز از مرکز	مرکز فشار اوریفیس
		افت موضعی	سرریز کاویتاسیون	افت در لوله مستقیم ضربه جت	مرکز فشار اوریفیس	ونتوری متر وسایل اندازه‌گیری دبی	پمپ سری و موازی پمپ گریز از مرکز

۶. دانشجویان می‌توانند حداکثر یک غیبت موجه (طبق آیین‌نامه آموزشی) در طول نیم‌سال داشته باشند. ضمناً دانشجویانی که یک جلسه غیبت موجه دارند می‌بایست به تنهایی آن آزمایش را انجام داده و به تنهایی گزارش آن را تهیه نمایند.

۷. تاخیر بیش از نیم ساعت به منزله غیبت محسوب می‌شود.

۸. در پایان هر نیم سال امتحان کتبی (شامل سوالات انتهای هر آزمایش (مفهومی و محاسبه) و تئوری‌های مطرح شده در دستور کار) و عملی (شامل تمام مواردی که در طول ترم در هنگام آزمایش مطرح شده است) به صورت انفرادی به عمل خواهد آمد.

لازم به ذکر است برای امتحان کتبی فرمول‌های بدیهی و پایه‌ای باید حفظ شوند.

۹. تقسیم‌بندی نمره نهایی دانشجو به شرح زیر است:

جدول ۲- تقسیم‌بندی نمره نهایی

حضور و پرسش کلاسی	گزارش کار	امتحان کتبی و عملی	جمع کل
۱۰-۲۰	۴۰-۵۰	۴۰-۵۰	۱۰۰

۱۰. گزارش هر آزمایش باید شامل موارد زیر باشد:

- هدف: خلاصه‌ای از اهداف آزمایش در این قسمت آورده شود (حداقل یک خط و حداکثر سه خط).
- تئوری: خلاصه‌ای از تئوری آزمایش همراه با فرمول‌های مربوطه آورده شود.

- **روش آزمایش:** خلاصه‌ای از آزمایش انجام شده تشریح گردد (حداکثر ۱۰ خط).
- **پاسخ به سوالات و نتایج:** تمامی نمودارها و جداول دارای عنوان و واحد بوده و نمونه محاسبات مربوط به جداول و نمودارها نیز الزاماً نوشته شود.

لازم به ذکر است که گزارش کار باید مرتب نوشته شود و قسمت تئوری و روش آزمایش عیناً دستور کار نباشد.

تذکرات مهم

مهلت تحویل هر گزارش کار به مدت یک هفته پس از انجام آن آزمایش است، در صورت تاخیر، به ازای هر هفته ۲۰٪ از نمره گزارش کار کسر خواهد شد.

صفحه اول هر گزارشی الزاماً Data Sheet مربوط به آن آزمایش قرار داده شود در غیر صورت تحویل گرفته نمی‌شود.

کپی برداری از گزارش سایر دانشجویان و سال‌های گذشته به منزله صفر است و هیچ توجیهی برای آن قابل قبول نیست.

آزمایش ونتوری متر (Venturi Meter)

هدف آزمایش

هدف از این آزمایش آشنایی با ونتوری متر، به دست آوردن ضریب تخلیه و تعیین درصد بهبود افت فشار و همچنین بررسی تغییرات فشار در طول ونتوری متر می باشد.

تئوری آزمایش

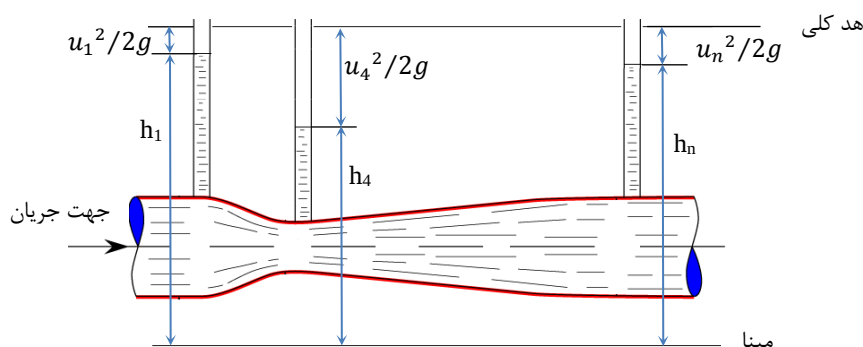
ونتوری لوله ای با قطر متغیر است که ابتدا سطح مقطع آن به تدریج کم می گردد و بعد از یک قسمت باریک (گلوگاه)، دوباره سطح مقطع آن اضافه شده تا به قطر اولیه برسد.

شکل (۱)، جریان ایده آل در لوله ونتوری را نشان می دهد. اگر A_1 ، A_4 و A_n به ترتیب سطح مقطع لوله ونتوری در ورودی، گلوگاه و هر مقطع 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 ی برنولی و پیوستگی را بین دو مقطع (ورودی و گلوگاه) نوشت و با حذف یکی از سرعت ها در دو رابطه معادله (۱) را به دست آورد.

$$u_4 = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_4)}{1 - \left(\frac{A_4}{A_1}\right)^2}} \quad \text{معادله (۱)}$$

بنابراین دبی حجمی ایده آل در ونتوری از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$Q_t = A_4 u_4 = A_4 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_4)}{1 - \left(\frac{A_4}{A_1}\right)^2}} \quad \text{معادله (۲)}$$



شکل ۱ - شرایط ایده آل در لوله ونتوری متر

با توجه به افت انرژی بین مقاطع ۱ و ۴ و ثابت نبودن سرعت‌ها در هر مقطع، دبی حجمی واقعی کمتر از مقدار به‌دست آمده از معادله (۲) می‌باشد. برای برطرف نمودن اثرات فوق ضریبی به نام ضریب دستگاه که با نماد (C) نشان داده می‌شود به طرف دوم معادله (۲) اضافه می‌گردد و عملاً رابطه زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$Q_e = C A_4 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_4)}{1 - \left(\frac{A_4}{A_1}\right)^2}} = C Q_t \quad \text{معادله (۳)}$$

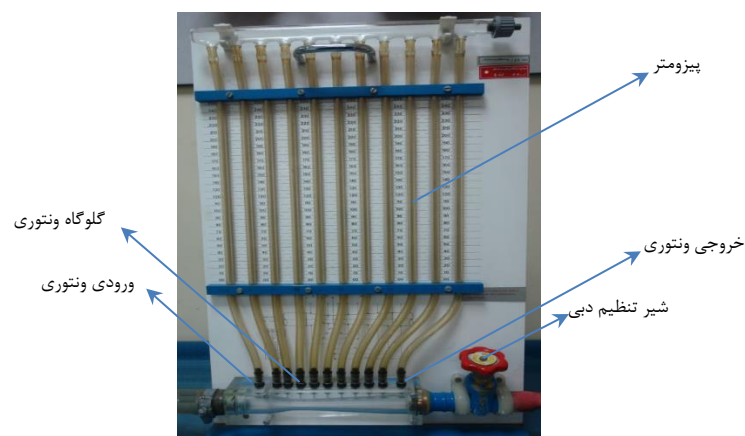
به کمک رابطه برنولی و معادله پیوستگی بین مقطع ورودی و هر مقطع اختیاری دیگر، می‌توان مقادیر تئوری تغییرات فشار نسبت به هد سرعت در گلوگاه را محاسبه کرد.

$$\frac{h_n - h_1}{u_4^2 / 2g} = \left(\frac{A_4}{A_1}\right)^2 - \left(\frac{A_4}{A_n}\right)^2 \quad \text{معادله (۴)}$$

لازم به ذکر است از رابطه بالا می‌توان توزیع فشار ایده‌آل را در طول ونتوری نیز محاسبه کرد.

شرح دستگاه و روش آزمایش

شکل (۲)، یک دستگاه ونتوری را نشان می‌دهد. در طول‌های مختلف این ونتوری ۱۱ پیزومتر جهت اندازه‌گیری فشار نسبی نصب شده است. برای اندازه‌گیری دبی جریان در ونتوری‌مترها، فقط دو پیزومتر در ورودی و گلوگاه لازم است، زیرا اندازه‌گیری دبی فقط به مقدار ارتفاع متناظر با فشار این دو مقطع بستگی دارد. تغییرات دبی نیز توسط شیر کنترل در قسمت خروجی ونتوری انجام می‌گیرد.



شکل ۲- دستگاه ونتوری‌متر

این آزمایش در دو مرحله انجام می‌شود.

۱. در دبی‌های مختلف برای محاسبه ضریب تخلیه و درصد بهبود افت فشار

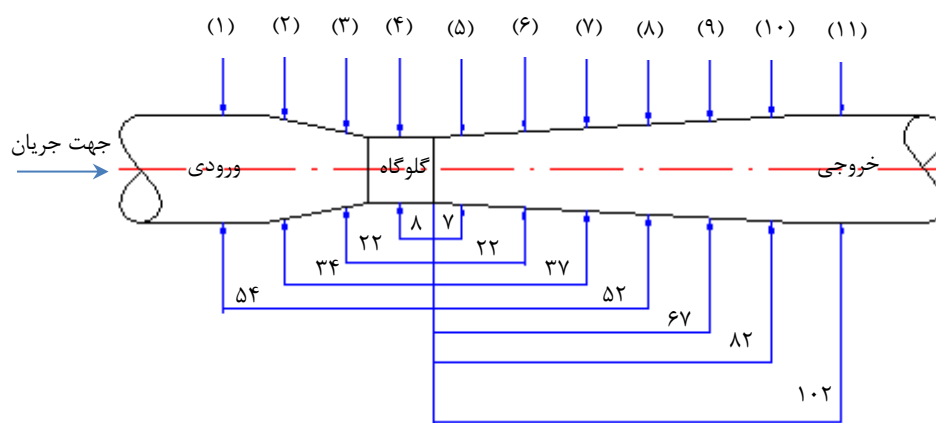
۲. در دو دبی خاص برای تعیین تغییرات نسبی فشار در طول ونتوری

مرحله اول: در مرحله اول شیر کنترل جریان طوری باز شود که سطح آب در ورودی (پیزومتر اول) در محدوده بالایی مقیاس مدرج و در گلوگاه (پیزومتر چهارم) در محدوده پایین مقیاس مدرج قرار گیرد. با تعیین h_1 و h_4 و داشتن ابعاد ونتوری می‌توان مقدار دبی ایده‌آل (Q_t) را از رابطه (۲) به دست آورد. مقدار دبی واقعی جریان نیز توسط میز هیدرولیک اندازه‌گیری شود. از مقایسه دبی واقعی و تئوری در رابطه (۳) می‌توان مقدار C را محاسبه کرد. برای بررسی تغییرات C بر حسب دبی، آزمایش فوق در ۸ مرحله انجام می‌شود.

مرحله دوم: برای تعیین توزیع فشار واقعی در طول لوله ونتوری، ارتفاع تمام پیزومترها برای دو دبی مشخص یادداشت شود. قطر مقاطع مختلف لوله ونتوری و محل انشعاب‌های پیزومترها در شکل (۳) و جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- قطر مقاطع مختلف ونتوری

شماره مانومتر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
قطر d_n (mm)	۲۶٫۰۰	۲۳٫۲۰	۱۸٫۴۰	۱۶٫۰۰	۱۶٫۸۰	۱۸٫۴۷	۲۰٫۱۶	۲۱٫۸۴	۲۳٫۵۳	۲۵٫۲۴	۲۶٫۰۰



شکل ۳- محل پیزومترها بر حسب میلی‌متر

نتایج و محاسبات

۱. نتایج حاصل از مرحله اول آزمایش را در جدول (۲) وارد کرده و آن را کامل کنید.

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

$$R = \frac{h_{11} - h_4}{h_1 - h_4} \times 100 = \text{درصد بهبود افت فشار}$$

جدول ۲- نتایج حاصل از مرحله اول آزمایش

ردیف	V(lit)	t(s)	h ₁ (mm)	h ₄ (mm)	h ₁₁ (mm)	(h ₁ - h ₄) (m)	(h ₁ - h ₄) ^{0.5} (m ^{0.5})	Q _e ×10 ⁴ (m ³ /s)	Q _e ×10 ⁴ (m ³ /s)	C	R
۱											
۲											
۳											
۴											
۵											
۶											
۷											
۸											

۲. به کمک جدول (۲) تغییرات (h₁-h₄)^{0.5} (m^{0.5}) را بر حسب 10⁴×Q_e (m³/s) رسم نمایید. آیا این نمودار خطی است؟

به کمک این نمودار مقدار متوسط C را به دست آورید.

۳. به کمک جدول (۲) تغییرات C بر حسب 10⁴×Q_e (m³/s) را ترسیم کنید و درباره نحوه تغییرات آن بحث نمایید.

۴. به کمک جدول (۲) تغییرات R بر حسب 10⁴×Q_e (m³/s) را ترسیم کنید و بر روی آن بحث کنید.

۵. برای تعیین توزیع فشار تجربی نتایج حاصل از مرحله دوم را که در آن ارتفاع تمام پیزومترها خوانده شده را در جدول

(۳) وارد کرده و آن را کامل کنید.

جدول ۳- تغییرات تجربی نسبت افت فشار به هد سرعت در گلوگاه

شماره پیزومتر (n)	$\frac{V(\text{lit})}{t(\text{s})} = Q_e \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = \frac{u_4^2}{2g} (m) =$			$\frac{V(\text{lit})}{t(\text{s})} = Q_e \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = \frac{u_4^2}{2g} (m) =$		
	$h_n(\text{mm})$	$h_n-h_1(\text{m})$	$\frac{h_n-h_1}{u_4^2/2g}$	$h_n(\text{mm})$	$h_n-h_1(\text{m})$	$\frac{h_n-h_1}{u_4^2/2g}$
۱						
۲						
۳						
۴						
۵						
۶						
۷						
۸						
۹						
۱۰						
۱۱						

۶. مقادیر تئوری تغییرات فشار به هد سرعت در گلوگاه توسط رابطه (۴) تعیین می‌شود. با توجه به معلوم بودن قطر و تئوری در مقاطع مختلف جدول (۴) را کامل کنید.

جدول ۴- تغییرات تئوری نسبت افت فشار به هد سرعت در گلوگاه

شماره پیزومتر (n)	قطر مقطع (mm)	$\frac{d_4}{d_n}$	$\left(\frac{A_4}{A_n} \right)^2$	$\frac{h_n-h_1}{u_4^2/2g} = \left(\frac{A_4}{A_1} \right)^2 - \left(\frac{A_4}{A_n} \right)^2$
۱	۲۶,۰۰			
۲	۲۳,۲۰			
۳	۱۸,۴۰			
۴	۱۶,۰۰			
۵	۱۶,۸۰			
۶	۱۸,۴۷			
۷	۲۰,۱۶			
۸	۲۱,۸۴			
۹	۲۳,۵۳			
۱۰	۲۵,۲۴			
۱۱	۲۶,۰۰			

۷. با استفاده از جدول (۳)، (۴) و شکل (۳)، نمودار تغییرات تئوری و تجربی نسبت افت فشار به هد سرعت در گلوگاه را بر حسب محل پیزومترها رسم کنید و علت اختلاف آن‌ها در قسمت‌های مختلف در طول و تئوری متر را شرح دهید.

۸. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که فشار در انتهای ونتوری‌متر کم‌تر از فشار در ابتدای آن است و این اختلاف به علت افت انرژی سیال است. آیا می‌توان این اختلاف فشار را برای اندازه‌گیری دبی به کار برد؟ چرا؟
۹. نحوه تغییرات گرادیان فشار در قسمت همگرا و واگرا متفاوت است. در مورد این تغییرات بحث کنید.
۱۰. درباره‌ی نحوه تغییرات ضریب تخلیه (Discharge Coefficient) با دبی در انواع ونتوری مترها تحقیق کنید و بحث نمایید در یک ونتوری ضریب تخلیه به چه پارامتری وابسته است.
۱۱. اگر بخواهیم از یک ونتوری‌متر برای اندازه‌گیری دبی یک گاز استفاده کنیم چه اصلاحی در ونتوری مورد استفاده، پیشنهاد می‌کنید.

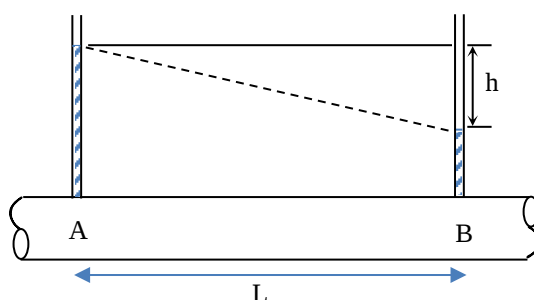
آزمایش افت فشار اصطکاکی در لوله مستقیم (Friction Loss in a Pipe)

هدف آزمایش

هدف از این آزمایش بررسی قوانین افت اصطکاکی بر حسب نوع جریان درون لوله (آرام و آشسته)، همچنین تعیین ضریب ویسکوزیته‌ی جریان آرام توسط معادله پوازی و ضریب اصطکاک جریان آشسته توسط معادله دارسی ویسباخ می‌باشد.

تئوری آزمایش

افت انرژی بر اثر اصطکاک، درون یک لوله‌ی مستقیم و افقی به صورت کاهش فشار ظاهر می‌شود. اگر جریان مایعی از لوله شکل (۱) عبور کند اختلاف ارتفاع (h) در پیزومترهای A و B معرف افت انرژی در اثر اصطکاک یا افت فشار (به ازای واحد وزن سیال جاری) در لوله افقی می‌باشد.



شکل ۱- افت فشار در طول L

با توجه به این که بعد افت فشار به ازای واحد وزن سیال از دیمانسین طول است به آن افت هد یا افت ارتفاع می‌گویند. در مسائل مهندسی معمولاً افت فشار را برای واحد طول لوله محاسبه می‌نمایند و به آن گرادیان فشار یا گرادیان هیدرولیکی می‌گویند که طبق رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$i = \frac{h}{L} \quad \text{معادله (۱)}$$

در بررسی جریان سیال داخل لوله می‌توان نتیجه گرفت که در جریان آرام گرادیان هیدرولیکی متناسب با سرعت و در جریان آشسته متناسب با سرعت به توان عددی بین ۱/۷ تا ۲ می‌باشد. مقدار این توان به عدد رینولدز و زبری جداره داخلی لوله بستگی دارد. رابطه گرادیان هیدرولیکی و سرعت در جریان آرام توسط معادله پوازی به شکل زیر بیان می‌شود.

$$i = \frac{h}{L} = \frac{32 \mu u}{\rho g D^2} \quad \text{معادله (۲)}$$

معادله (۲) را با کمی تغییر می‌توان به شکل معادله (۳) نوشت که البته با توجه به کمیت سرعت در عدد رینولدز نمی‌توان نتیجه گرفت که در آن i متناسب با مجذور سرعت است.

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

در محاسبات مهندسی برای محاسبه گرادیان هیدرولیکی در جریان‌های آشفته از رابطه دارسی ویسباخ به‌صورت زیر استفاده می‌شود.

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

در رابطه فوق f ضریب اصطکاک لوله نامیده می‌شود 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) به‌دست می‌آید.

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

برای محاسبه f در جریان آشفته آزمایش‌های زیادی صورت گرفته که با توجه به فرضیات موجود در آن‌ها روابط مختلفی برای f پیشنهاد شده است، یکی از روابط پیشنهادی رابطه کلبروک است که به صورت رابطه (۶) می‌باشد.

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

در صورتی که عدد رینولدز بین ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ و لوله صاف باشد می‌توان از رابطه پیشنهادی بلازیوس به‌صورت زیر استفاده کرد.

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

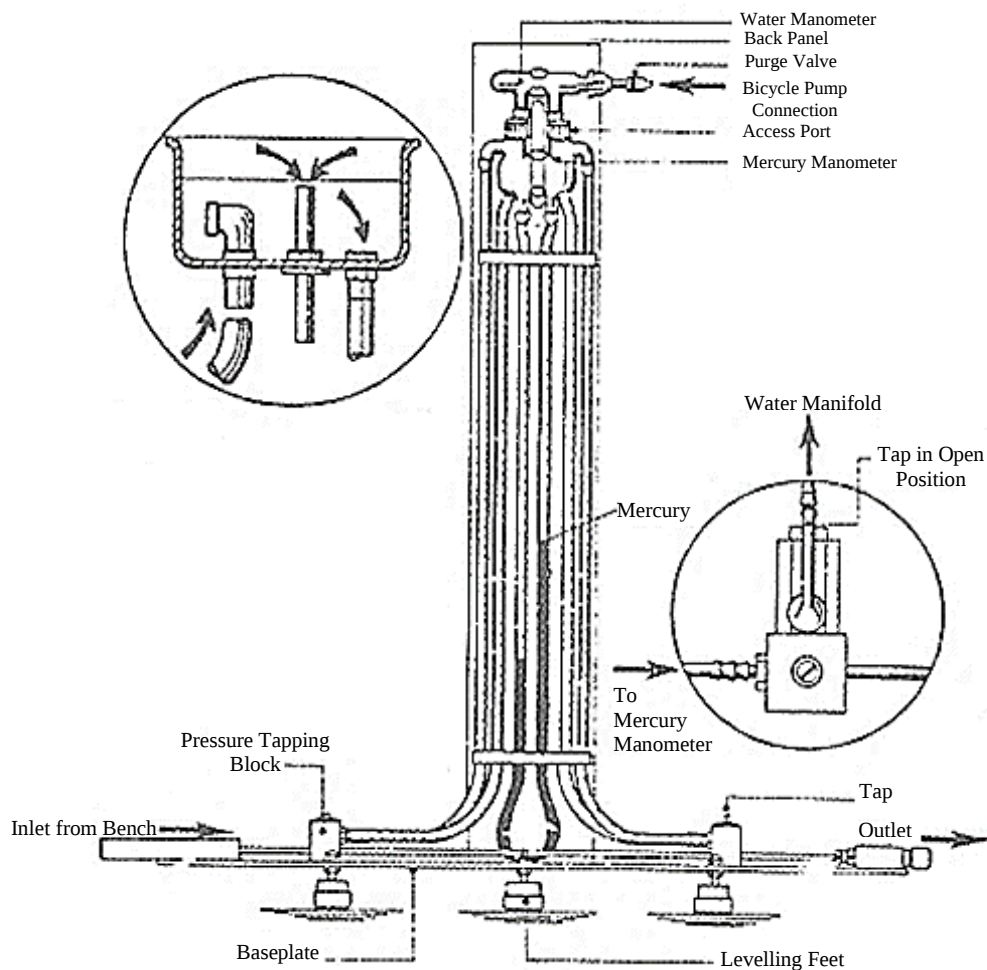
در عمل رابطه گرادیان هیدرولیکی بر حسب سرعت را به صورت معادله (۸) نشان می‌دهند. که n و K برای یک جریان و لوله معین، ثابت است.

$$i = K u^n \quad \text{معادله (۸)}$$

مقدار n در ناحیه آشفته بین ۱/۷ تا ۲ می‌باشد.

شرح دستگاه و روش آزمایش

شکل (۲) نمای کلی دستگاه مورد آزمایش را نشان می‌دهد. توسط مانومترهای تفاضلی جیوه‌ای و آبی روی دستگاه می‌توان 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 (معمولاً جریان آرام) از مانومترهای تفاضلی آبی و در افت فشارهای زیاد (معمولاً جریان آشفته) از مانومترهای تفاضلی جیوه‌ای استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری دبی آب در لوله از یک ظرف مدرج و کرومومتر استفاده می‌گردد. تغییرات دبی آب توسط یک شیر سوزنی در قسمت خروجی لوله انجام می‌گیرد. برای برقراری جریان آرام، از یک تانک آب در ارتفاع ثابت استفاده می‌شود و برای برقراری جریان آشفته، خروجی پمپ را مستقیم به لوله اصلی وصل می‌کنند.



شکل

۲- شمای دستگاه اندازه‌گیری افت فشار در لوله

قبل از شروع آزمایش ابتدا می‌بایست دستگاه را تنظیم نمود. آزمایش در دو مرحله انجام می‌شود.

۱. بیش‌تر جریان به صورت آرام

۲. بیش‌تر جریان به صورت آشفته

مرحله اول: برای انجام مرحله اول آزمایش خروجی پمپ میز آزمایشگاهی را به تانک آب در ارتفاع ثابت وصل نموده و سپس توسط لوله‌ای در زیر تانک آن را به داخل لوله مورد آزمایش هدایت کنید. توسط مانومتر تفاضلی آبی می‌توان افت فشار (افت هد) را خوانده و نتیجه را یادداشت کرد. با بستن تدریجی شیر سوزنی در انتهای لوله این مرحله از آزمایش را برای چند دبی مختلف انجام دهید. اندازه‌گیری دبی در هر مرحله توسط ظرف مدرج و کرومومتر انجام می‌گیرد.

مرحله دوم: برای انجام مرحله دوم آزمایش خروجی پمپ را مستقیم به لوله اصلی وصل کنید. با توجه به اینکه در چنین حالتی فشار خروجی پمپ در لوله مورد آزمایش اثر دارد، بنابراین بیش‌تر جریان آشفته می‌باشد. در این مرحله چون افت فشار زیادتر است از مانومترهای تفاضلی جیوه‌ای برای اندازه‌گیری آن استفاده می‌شود. با بستن تدریجی شیر سوزنی در انتهای لوله این مرحله از آزمایش را نیز برای چند دبی مختلف انجام دهید.

لازم به ذکر است برای محاسبه ضریب ویسکوزیته، دمای متوسط آب نیز در طول آزمایش اندازه‌گیری شود و تفاضل ارتفاع مانومترهای جیوه‌ای در عدد $12/6$ ضرب گردد تا افت هد بر اساس ارتفاع آب به دست آید.

محاسبات و نتایج

۱. نتایج حاصل از مرحله اول و دوم آزمایش (شامل اندازه‌گیری حجم آب جمع شده، زمان و ارتفاع مانومترها در ورودی

و خروجی لوله) را در جدول (۱) و (۲) وارد و آن را کامل کنید.

جدول ۱- نتایج حاصل از مرحله اول آزمایش (جریان آرام)

ردیف	V (m Lit)	t (s)	h_A (mm)	h_B (mm)	u(m/s)	$(h_A - h_B)$ (m)	i	Log(i)	Log(u)
۱									
۲									
۳									
۴									
۵									
۶									
۷									
۸									
۹									
۱۰									

جدول ۲- نتایج حاصل از مرحله دوم آزمایش (جریان آشفته)

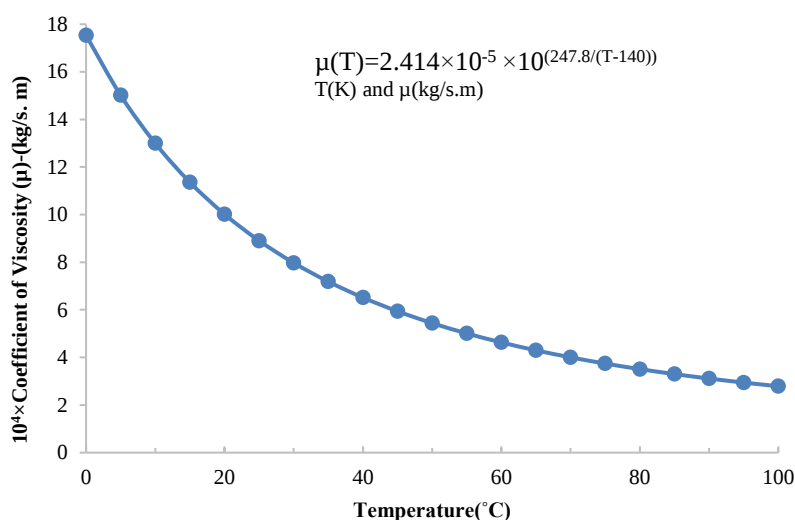
ردیف	V (m lit)	t (s)	h_A (mm)	h_B (mm)	u (m/s)	$(h_A - h_B)$ (m)	i	Log(i)	Log(u)
۱									
۲									
۳									
۴									
۵									
۶									
۷									
۸									
۹									
۱۰									

۲. نمودار i بر حسب u (m/s) را برای جریان آرام و آشفته در یک نمودار ترسیم کنید و بحث نمایید.

۳. برای بررسی دقیق‌تر تغییرات سرعت در جریان آرام، نمودار i بر حسب u (m/s) را برای سرعت‌های کم‌تر از یک متر

بر ثانیه ترسیم کنید. به کمک این نمودار رینولدز بحرانی را محاسبه نمایید. همچنین به کمک شیب نمودار و رابطه

پوازی ضریب ویسکوزیته را تعیین کرده و با مقدار موجود در نمودار زیر مقایسه کنید.



شکل ۳- تغییرات ویسکوزیته بر حسب دما

۴. نمودار $\text{Log}(i)$ بر حسب $\text{Log}(u)$ را برای جریان آرام و آشفته ترسیم کنید. اگر بدانیم به‌طور کلی گرادیان هیدرولیکی

متناسب با u^n می‌باشد، به کمک نمودار رسم شده، n را برای جریان آرام و آشفته محاسبه کنید.

۵. برای جریان آشفته جدول (۳) را کامل کنید (با توجه به داشتن دمای آب، ضریب ویسکوزیته را از شکل (۳) تعیین

کنید و Re را از رابطه $(Re = \frac{\rho u D}{\mu})$ محاسبه کنید).

جدول ۳- مقایسه ضرایب f در جریان آشفته

ردیف	u (m/s)	i	$u^2/2gD$	Re	f داریسی ویسباخ	f بلازیوس
۱						
۲						
۳						
۴						
۵						
۶						
۷						
۸						
۹						
۱۰						

۶. با استفاده از جدول (۳)، نمودار ضریب اصطکاک به دست آمده از رابطه داریسی ویسباخ و بلازیوس را بر حسب رینولدز ترسیم کرده و بحث نمایید، با توجه به نمودار داریسی ویسباخ توضیح دهید چگونه می توان به کمک این نمودار زبری لوله را تعیین کرد.

آزمایش جریان درون یک اوریفیس (Flow Through an Orifice)

هدف آزمایش

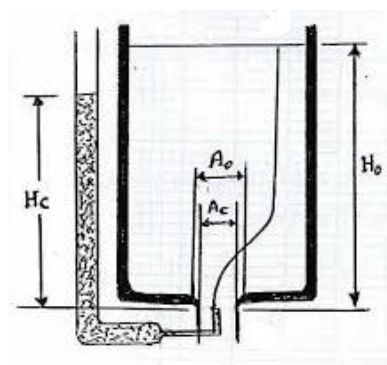
هدف از این آزمایش مشاهده چگونگی تخلیه مایعات از یک سوراخ مدور^۱ و تعیین ضرایب تخلیه، سرعت و سطح جریان در ارتفاع معین و همچنین به دست آوردن رابطه‌ای بین این ضرایب می‌باشد. یکی دیگر از اهداف آزمایش اندازه‌گیری زمان تخلیه تجربی و مقایسه آن با زمان تئوری بر حسب ارتفاعات مختلف است.

تئوری آزمایش

وقتی سیالی از میان یک دهانه لبه تیز عبور می‌کند دبی واقعی آن کمتر از دبی به دست آمده از روابط تئوری می‌باشد و این اختلاف نه تنها به واسطه افت انرژی بلکه بیش‌تر به خاطر انقباض سطح مقطع جریان می‌باشد. به کم‌ترین مقطع جریان، مقطع فشرده^۲ می‌گویند. در شکل (۱) اساس عبور جریان از یک سوراخ نشان داده شده است. اگر H_c ارتفاع آب مخزن در مقطع فشرده باشد، با نوشتن رابطه برنولی بین دو نقطه در سطح آزاد و مقطع فشرده می‌توان سرعت ایده‌آل خروجی آب را از معادله (۱) به دست آورد.

$$V_0 = \sqrt{2gH_0}$$

معادله (۱)



شکل ۱- عبور آب از یک سوراخ مدور

اگر به کمک لوله پیتوت هد کلی جریان در مقطع فشرده H_c باشد در این صورت سرعت واقعی خروجی آب از رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$V_c = \sqrt{2gH_c}$$

معادله (۲)

¹ Orifice

² Vena Contracta

طبق تعریف نسبت سرعت واقعی به سرعت ایده‌آل را ضریب سرعت نامیده و با C_v نشان می‌دهند.

$$C_v = \frac{V_c}{V_0} = \sqrt{\frac{H_c}{H_0}} \quad \text{معادله (۳)}$$

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

$$C_c = \frac{A_c}{A_0} = \frac{D_c^2}{D_0^2} \quad \text{معادله (۴)}$$

با توجه به تعاریف فوق می‌توان دریافت که دبی حجمی واقعی (Q_e) کم‌تر از مقدار تئوری (Q_t) می‌باشد. نسبت دبی واقعی به دبی تئوری را ضریب تخلیه نامیده و با C_d نشان می‌دهند.

$$C_d = \frac{Q_e}{Q_t} = \frac{V_c A_c}{V_0 A_0} \quad \text{معادله (۵)}$$

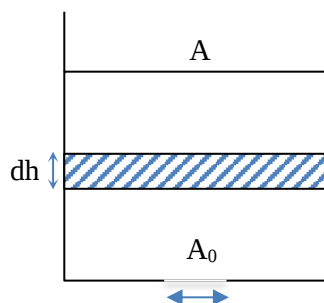
واضح است که:

$$C_d = C_c C_v \quad \text{معادله (الف-۵)}$$

برای تعیین زمان لازم برای تخلیه مقدار معینی مایع از سوراخ یک مخزن به‌صورت تئوری، شکل (۲) را در نظر بگیرید. فرض می‌کنیم 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 انتگرال‌گیری در تمام حجم مخزن می‌توان رابطه‌ای جهت تعیین زمان تخلیه به‌دست آورد.

$$A dh = A_0 \sqrt{2gh} dt \quad \text{معادله (۶)}$$

$$t = \frac{2A}{A_0 \sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) \quad \text{معادله (۷)}$$



شکل ۲- المان‌گیری برای به دست آوردن زمان تخلیه تئوری

لازم به‌ذکر است H_1 و H_2 ارتفاع اولیه و ثانویه سطح آب می‌باشند.

شرح دستگاه و روش آزمایش

دستگاه آزمایش مطابق شکل (۳) از یک مخزن استوانه‌ای 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. به منظور تثبیت ارتفاع آب نیز یک لوله سرریز جهت تخلیه آب اضافی، در مخزن قرار داده شده است.



شکل ۳- دستگاه مورد آزمایش

سورخ مورد آزمایشی که در زیر مخزن قرار دارد مشخصات آن در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات دستگاه آزمایش اوریفیس

قطر مخزن (mm)	قطر اوریفیس (mm)
D=150	D ₀ =13

این آزمایش به ترتیب در سه مرحله انجام می‌شود:

۱. اندازه‌گیری ضرایب C_c ، C_d و C_v در ارتفاع ثابت آب
۲. اندازه‌گیری ضریب تخلیه (C_d) در ارتفاعات مختلف
۳. اندازه‌گیری تجربی زمان تخلیه آب از مخزن در ارتفاعات مختلف و مقایسه آن با مقادیر تئوری

مرحله اول: برای انجام مرحله اول آزمایش، شیر کنترل جریان آب در روی میز هیدرولیک را طوری باز می‌کنیم تا مخزن پر شده و ضمن ثابت بودن ارتفاع آب در مخزن میزان آب اضافی برگشتی از لوله سرریز حداقل باشد. با اندازه‌گیری دبی واقعی توسط میز هیدرولیک (Q_e) و ارتفاع آب در مخزن (H_0) و داشتن قطر سوراخ می‌توان ضریب تخلیه (C_d) را از رابطه زیر به دست آورد.

$$C_d = \frac{Q_e}{Q_t} = \frac{Q_e}{A_0 \sqrt{2gH_0}} \quad \text{معادله (۸)}$$

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

برای تعیین ضریب سطح (C_c) توسط تیغه‌ای لبه تیز در زیر مخزن قطر جت آب را در مقطع فشرده تعیین نموده و از رابطه (۴) استفاده می‌شود.

مرحله دوم: برای انجام مرحله دوم، شیر کنترل جریان آب را کمی می‌بندیم تا آب در ارتفاع پایین‌تری (حدوداً ۴ سانتی‌متر پایین‌تر از مقدار اولیه) قرار گیرد. بعد از مدتی که آب در ارتفاع ثابتی قرار گرفت میزان دبی آب را تعیین کرده و ارتفاع آب در مخزن را یادداشت می‌کنیم. بهتر است در تمامی مدتی که مشغول اندازه‌گیری هستیم چندین ارتفاع را یادداشت کرده و متوسط آن‌ها را به عنوان ارتفاع ثابت در نظر بگیریم. با داشتن دبی واقعی و ارتفاع آب متناظر با آن می‌توان ضریب تخلیه را در هر ارتفاع به دست آورد. این آزمایش برای ۶ یا ۷ ارتفاع مختلف انجام شود.

مرحله سوم: برای انجام مرحله سوم شیر کنترل جریان را باز کرده تا سطح آب به ارتفاع معینی برسد سپس آن را سریع بسته و همزمان با کروномتر زمان لازم تا تخلیه کامل را اندازه می‌گیریم. 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 را برای ۵ ارتفاع مختلف آب اندازه بگیریم.

محاسبات و نتایج

۱. ضرایب تخلیه (C_d)، سرعت (C_v) و سطح (C_c) را در مرحله اول به دست آورید. آیا این ضرایب از رابطه (الف-۵) تبعیت می‌کند علت آن را توضیح دهید.

۲. نتایج حاصل از مرحله دوم را در جدول (۲) یادداشت نموده و سپس آن را کامل کنید.

جدول ۲- تعیین ضریب تخلیه در ارتفاع‌های مختلف

ردیف	m (kg)	t (s)	H ₀ (mm)	H ₀ ^{0.5} (m ^{0.5})	10 ⁴ ×Q _t (m ³ /s)	10 ⁴ ×Q _e (m ³ /s)	C _d
۱							
۲							
۳							
۴							
۵							
۶							
۷							

۳. به کمک جدول (۲) نمودار تغییرات $10^4 \times Q_e$ (m³/s) بر حسب $H_0^{0.5}$ (m^{0.5}) را رسم کنید اگر این نمودار از مبدا عبور

نکند برای آن چه دلیلی می‌توان نوشت؟

۴. نمودار تغییرات C_d بر حسب H₀ (m) چگونه است؟

۵. نتایج حاصل از مرحله سوم را در جدول (۳) یادداشت نموده و آن را کامل کنید. زمان تئوری و تجربی را بر حسب H₁

$H_2^{0.5} - H_1^{0.5}$ (m^{0.5}) بر روی یک نمودار ترسیم و با یکدیگر مقایسه کنید. مقدار زمان تئوری کم‌تر است یا بیش‌تر؟ چرا؟

برای نزدیک‌تر شدن این دو مقدار چه پیشنهاد اصلاحی در رابطه (۷) دارید؟

جدول ۳- زمان تخلیه تئوری و تجربی (H₂=100 mm)

ردیف	H ₁ (mm)	t تجربی (s)	H ₁ ^{0.5} - H ₂ ^{0.5} (m ^{0.5})	t تئوری (s)
۱				
۲				
۳				
۴				
۵				
۶				
۷				

۶. برای به‌دست آوردن رابطه (۱) از معادله برنولی باید فرضیاتی نمود، این فرضیات چیست؟ افت هد آب از ورود به مخزن

تا خروج از سوراخ از چه رابطه‌ای به دست می‌آید.

۷. درباره‌ی نحوه تغییرات ضریب تخلیه (Discharge Coefficient) با دبی در انواع اوریفیس تحقیق کنید و بحث

نمایید در یک اوریفیس ضریب تخلیه به چه پارامتری وابسته است.

۸. اگر در عمل دبی واقعی از یک سوراخ به‌صورت $Q = K H_0^n$ نشان داده شود، یک روش تجربی جهت تعیین K و n

پیشنهاد دهید. مقادیر تجربی و تئوری K و n برای اوریفیس نصب شده در زیر مخزن را به‌دست آورید.

آزمایش پمپ گریز از مرکز (Centrifugal Pump)

هدف آزمایش

هدف از این آزمایش شناسایی پمپ گریز از مرکز، اندازه‌گیری هد مانومتری، راندمان و سرعت مخصوص پمپ در دورهای مختلف و رسم منحنی‌های مشخصه آن می‌باشد.

تئوری آزمایش

مهم‌ترین بررسی عملی در کارکرد پمپ‌ها رسم منحنی‌های مشخصه آن می‌باشد. این منحنی‌ها نشان‌دهنده روابط بین هد، توان داده شده و راندمان بر حسب دبی و ... می‌باشند.

BHP^1 توانی است که پمپ از موتور راه اندازش می‌گیرد و WHP^2 توانی است که پمپ به سیال می‌دهد، طبق تعریف نسبت توان منتقل شده به سیال به توان داده شده به پمپ را راندمان پمپ می‌نامند.

$$\eta_p = \frac{W.H.P}{B.H.P} \quad \text{معادله (۱)}$$

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

$$W.H.P = \gamma H Q = P Q \quad \text{معادله (۲)}$$

اگر موتور پمپ با سرعت ω و گشتاور C دوران کند توان داده شده به پمپ از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$B.H.P = C \omega \quad \text{معادله (۳)}$$

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

$$C = FL \quad \text{معادله (۴)}$$

گاهی در پمپ‌ها راندمان کلی (راندمان الکتروپمپ) را نیز محاسبه می‌کنند. در چنین حالتی طبق تعریف نسبت توان داده شده به سیال به توان الکتریکی مصرف شده توسط موتور را راندمان کلی می‌نامند. همچنین طبق تعریف نسبت توان مکانیکی گرفته شده از موتور به توان الکتریکی مصرف شده را راندمان موتور می‌نامند. 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 می‌آید.

¹ Brake Horse Power

² Water Horse Power

$$W = VI \quad \text{معادله (۵)}$$

$$\eta_m = \frac{C\omega}{VI} \quad \text{معادله (۶)}$$

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

$$\eta = \eta_m \cdot \eta_p = \frac{P Q}{VI} \quad \text{معادله (۷)}$$

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 دبی یک متر مکعب بر ثانیه را به ارتفاع یک متر بالا ببرد. سرعت مخصوص یک پمپ در سیستم متریک از رابطه (۸) محاسبه می‌گردد.

$$N_s = \frac{\omega \sqrt{Q}}{(g H)^{3/4}} \quad \text{معادله (۸)}$$

معمولاً سرعت مخصوص را در راندمان ماکزیمم به دست می‌آورند. دو پمپ وقتی از نظر هندسی مشابه‌اند که دارای یک زاویه ساختمانی بوده و ابعاد خطی آن‌ها متناسب باشند. در صورتی که سرعت‌های سیال در نقاط مشابه دارای یک نسبت باشند می‌گویند دو پمپ با هم تشابه هیدرولیکی دارند. اعداد بدون بعد مهم دیگر در پمپ‌ها ضریب هد و ضریب گذر می‌باشند که به صورت زیر تعریف می‌شوند.

$$\text{ضریب هد} = \frac{g H}{\omega^2 D^2} \quad \text{معادله (۹)}$$

$$\text{ضریب گذر} = \frac{Q}{\omega D^3} \quad \text{معادله (۱۰)}$$

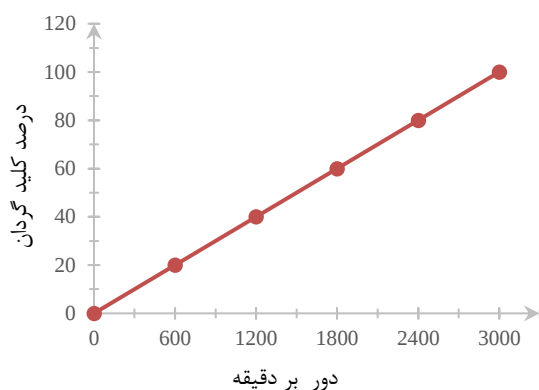
از طرفی می‌توان نوشت که:

$$\text{سرعت ویژه} = \frac{\text{ضریب گذر}^{1/2}}{\text{ضریب هد}^{3/4}} \quad \text{معادله (۱۱)}$$

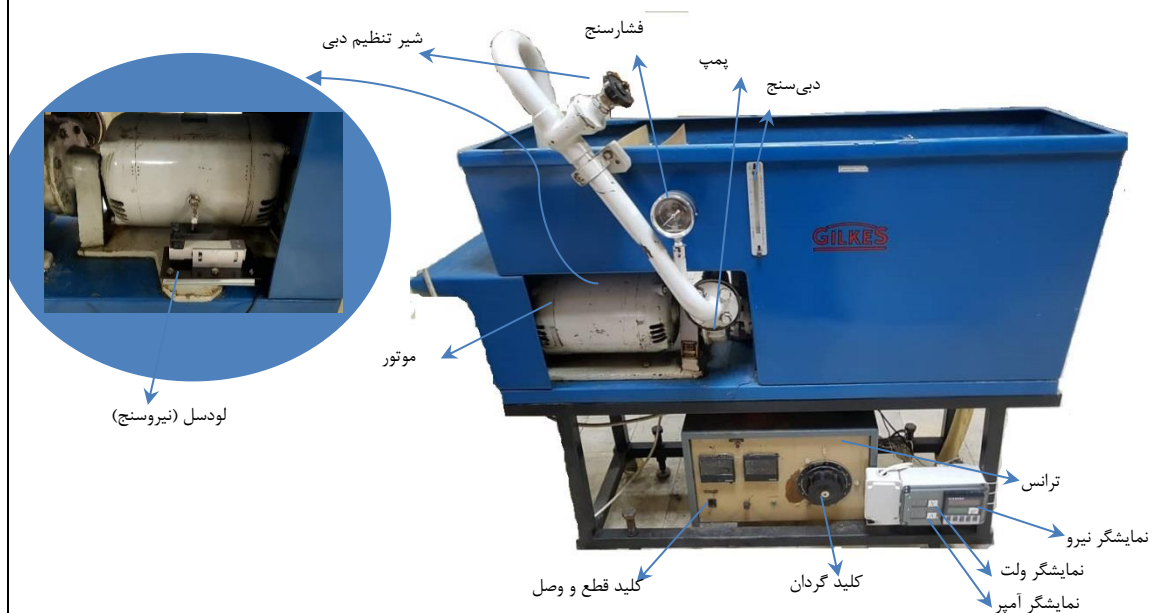
شرح دستگاه و روش آزمایش

در شکل (۱) دستگاه آزمایش نشان داده شده است. این دستگاه از یک مخزن آب پایین دست (مخزن مکش)، یک پمپ گریز از مرکز دور متغیر و یک مخزن بالا دست (مخزن رانش) تشکیل شده است. اختلاف ارتفاع دو مخزن تقریباً ناچیز است همچنین قطر لوله رانش و مکش یکسان می‌باشد لذا توان منتقل شده به آب تنها صرف افزایش فشار آن می‌گردد. فشار آب خروجی از پمپ توسط یک فشارسنج عقربه‌ای در روی لوله رانش مشخص می‌شود. آب خروجی از پمپ وارد مخزن رانش شده و توسط یک سرریز مثلی دبی حجمی آن بر حسب فوت مکعب بر دقیقه معلوم می‌گردد.

بازوی گشتاورسنج به بدنه آزاد موتور وصل شده است و نیروی گشتاور آن را می‌توان توسط نیروسنج جیوه‌ای تعیین کرد. با جعبه کنترل دور موتور، می‌توان مقدار شدت جریان الکتریکی و اختلاف پتانسیل الکتریکی را تعیین نمود. با کلید گردان روی این جعبه نیز می‌توان دور موتور را در مقدار خواسته شده قرار داد. به کمک عدد مقابل شاخص روی کلید گردان و شکل (۱) می‌توان دور موتور را به دست آورد.



شکل ۱- تغییرات درصد کلید گردان بر حسب دور بر دقیقه



شکل ۲- دستگاه پمپ سانتریفوژ

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

دستگاه را روشن نموده و شاخص کلید گردان آن را در مقابل عدد ۵۰ قرار دهید (دور موتور در این حالت حدوداً ۱۵۰۰ دور بر دقیقه است) سپس شیر خروجی در روی لوله رانش را به طور کامل باز کنید. مقدار ولتاژ، آمپر، نیروی گشتاوری موتور، فشار مانومتری و دبی حجمی آب را یادداشت نمایید. شیر خروجی را در چند مرحله به میزان مشخص شده در جدول (۱) ببندید و اطلاعات فوق را در هر مرحله یادداشت نمایید. این عمل را تا بستن کامل شیر ادامه دهید. در مرحله دوم عدد کلید گردان را در مقابل شاخص ۶۰ درصد قرار دهید (دور موتور در این حالت حدوداً ۱۸۰۰ دور بر دقیقه است) و شیر خروجی را به طور کامل باز کنید و مطابق دور قبلی اطلاعات لازم را یادداشت نمایید. این آزمایش را برای کلید گردان در مقابل شاخص ۷۰ درصد (دور موتور در این حالت حدوداً ۲۱۰۰ دور بر دقیقه است) نیز 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.

لازم به ذکر است $L=16\text{cm}$ و $D=14\text{cm}$ می باشد.

محاسبات و نتایج

۱. نتایج حاصل از هر مرحله را در جدول (۱)، (۲) و (۳) یادداشت نموده و محاسبات جدول را کامل کنید.
۲. نمودار تغییرات $H(m)$ بر حسب $Q (m^3/s)$ را در سه دور مختلف، در یک نمودار ترسیم و بحث کنید.
۳. نمودار تغییرات BHP بر حسب $Q (m^3/s)$ را در سه دور مختلف، در یک نمودار ترسیم و بحث کنید.
۴. نمودار تغییرات η_p بر حسب $Q (m^3/s)$ را در سه دور مختلف، در یک نمودار ترسیم و بحث کنید.
۵. نمودار تغییرات η_m بر حسب $Q (m^3/s)$ را در سه دور مختلف، در یک نمودار ترسیم و بحث کنید.
۶. نمودار تغییرات η بر حسب BHP را در سه دور مختلف، در یک نمودار ترسیم و بحث کنید.
۷. سرعت ویژه پمپ، ضریب هد و گذر را در هر دور موتور برای حالت راندمان ماکزیمم محاسبه کنید.
۸. اثر درجه حرارت مایع و وجود ذرات جامد در مایع در طرز کار و راندمان پمپ چیست؟
۹. منظور از راه اندازی پمپ چیست و مراحل راه اندازی یک پمپ گریز از مرکز را بنویسید؟
۱۰. عوامل موثر در انتخاب ارتفاع مکش یک پمپ گریز از مرکز چیست؟

جدول ۱- کلید گردان ۵۰٪

باز شدگی شیر آب	P(pa)	Q(m ³ /s)	F(N)	V(v)	I(A)	C	BHP	W	WHP	η_p	η_m	η	H (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													

جدول ۲- کلید گردا ن ۶۰٪

باز شدگی شیر آب	P(pa)	Q(m ³ /s)	F(N)	V(v)	I(A)	C	BHP	W	WHP	η_p	η_m	η	H (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													

جدول ۲- کلید گردان ۷۰٪

باز شدگی شیر آب	P(pa)	Q(m ³ /s)	F(N)	V(v)	I(A)	C	BHP	W	WHP	η_p	η_m	η	H (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													

آزمایش نیروی برخورد جت آب (Impact of a Jet)

هدف آزمایش

هدف از این آزمایش اندازه‌گیری نیروی تجربی حاصل از برخورد جت آب به یک سطح صاف و نیم‌کره و مقایسه این نیرو با تغییرات مقدار حرکت خطی جت آب نسبت به زمان می‌باشد.

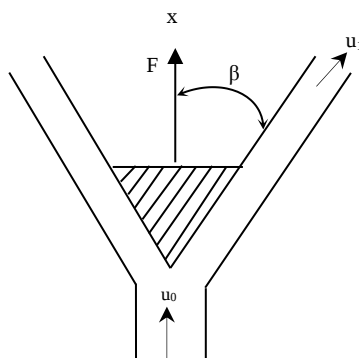
تئوری آزمایش

جت آب معمولاً برای ایجاد کار مکانیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک نمونه آن برخورد جت آب به پره‌های چرخ پلتون است که نیروی حاصل از تغییرات مقدار حرکت خطی (مومنتوم خطی) آب باعث به گردش درآمدن چرخ می‌شود. وقتی که جت آب به مانعی برخورد کند، امتداد سرعت آن تغییر می‌کند، طبق رابطه مومنتوم خطی نیرویی بر مانع اعمال می‌شود که در حالت دائمی بودن جریان و با این فرض که فقط نیروی سطحی بر مانع اعمال شود این نیرو برابر با تغییرات مقدار حرکت خطی جریان نسبت به زمان با علامت مخالف می‌باشد.

$$\vec{F}_t = - \oint_{C.S} \vec{T} \cdot d\vec{A} = - \oint_{C.S} \vec{u} \cdot (\rho \vec{u} \cdot d\vec{A}) \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن T نیروی سطحی وارد بر واحد سطح می‌باشد. اگر در حالت کلی مانعی را همانند شکل (۱) در نظر بگیریم که نسبت به محور x تقارن داشته باشد و همچنین آب خروجی از جت با سرعت u_0 به طرف بالا در حرکت بوده و بعد از برخورد با مانع در امتداد زاویه β منحرف شود. در این حالت رابطه (۱) برای یک حجم کنترل انتخابی در جهت x ، مقدار نیروی اعمال شده را نتیجه می‌دهد که به صورت رابطه زیر است.

$$F_t = \dot{m}u_0 - \dot{m}u_1 \cos\beta = \dot{m}(u_0 - u_1 \cos\beta) \quad \text{معادله (۲)}$$



شکل ۱- شماتیک برخورد آب با مانع

در حالتی که مانع به صورت یک سطح صاف و عمود بر امتداد سرعت باشد (شکل ۲-الف) در این حالت مقدار زاویه انحراف (β) در امتداد سرعت ۹۰ درجه می باشد و لذا معادله (۲) به صورت رابطه زیر مورد استفاده قرار می گیرد.

$$F_t = \dot{m}u_0 \quad \text{معادله (۳)}$$

در حالتی که مانع به صورت یک سطح نیم کره ای و عمود بر امتداد سرعت باشد (شکل ۲-ب) مقدار زاویه انحراف (β) در امتداد سرعت برابر با ۱۸۰ درجه خواهد شد. در چنین حالتی اگر از تغییرات سرعت صرف نظر شود نیروی موثر بر مانع از رابطه (۴) به دست می آید.

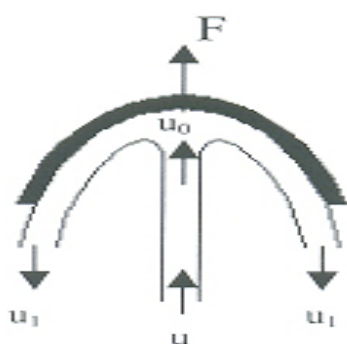
$$F_t = 2\dot{m}u_0 \quad \text{معادله (۴)}$$

باید توجه داشت که اندازه گیری سرعت برخورد جت آب به مانع عملاً مشکل است، اما با داشتن دبی جریان و سطح مقطع جت آب می توان سرعت جت را در آن مقطع تعیین نمود و با داشتن فاصله بین مقطع جت و مانع، سرعت برخورد جت را محاسبه کرد.

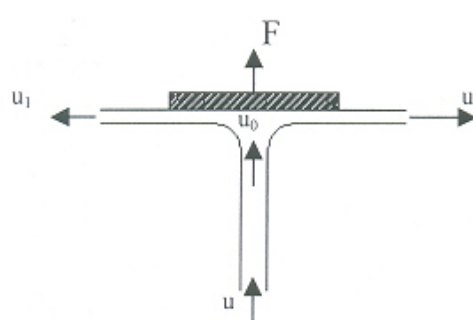
اگر u سرعت خروجی جت آب از لوله و u_0 سرعت برخورد جت با مانع باشد، به علت ثقل کمتر از u می شود لذا u_0 را می توان از رابطه (۵) تعیین نمود.

$$u_0^2 = u^2 - 2gS \quad \text{معادله (۵)}$$

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



شکل ۲-ب: مانع نیم کره ای



شکل ۲-الف: مانع صاف

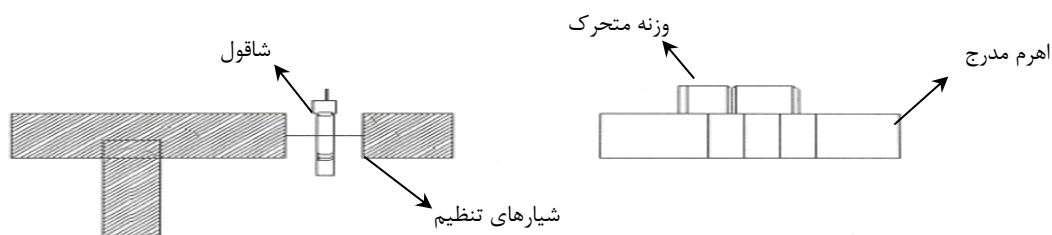
شرح دستگاه و روش انجام آزمایش

وسیله مورد آزمایش در شکل (۳) نشان داده شده است. مانع صاف یا نیم‌کره‌ای در امتداد عمود بر مسیر جت آب در داخل ظرفی استوانه‌ای و شفاف قرار می‌گیرد. جت آب بعد از برخورد با مانع تعادل آن را بر هم می‌زند. توسط جابه‌جا کردن وزنه‌ای که در روی اهرم متصل به مانع قرار دارد می‌توان مجدداً مانع را به صورت اولیه متعادل نمود. تعیین وضعیت تعادل توسط شاقول متصل به اهرم انجام می‌شود.



شکل ۳- دستگاه آزمایش ضربه جت

قبل از آزمایش می‌بایست با قراردادن وزنه متحرک روی فاصله صفر با مهره‌ی تنظیم بالای فنر، اهرم را با شاقول تراز نمود. وضعیت تعادل شاقول و شیار وزنه متحرک در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴ - وزنه و شاقول در وضعیت تعادل

بعد از تنظیم دستگاه، شیر خروجی پمپ را کامل باز نموده تا جت آب با حداکثر دبی به مانع برخورد و اهرم را از وضعیت تعادل خارج کند. با جابه‌جا کردن وزنه متحرک می‌توان مجدداً اهرم را در وضعیت تعادل قرار داد. در این حالت با یادداشت کردن

فاصله جابه‌جا شده وزنه متحرک و تعیین دبی آب توسط میز هیدرولیک، مقدار نیروی تجربی و تئوری موثر بر مانع قابل محاسبه است. حال با کاهش دبی آب و جابه‌جا نمودن وزنه متحرک، این آزمایش را برای مانع تخت و نیم‌کره در ۱۰ مرحله انجام دهید. مشخصات لازم دستگاه جهت محاسبات به شکل زیر است:

۱. جرم وزنه متحرک روی اهرم ۶۰۰ گرم

۲. قطر دهانه شیپوره ۱۰ میلی‌متر

۳. فاصله مرکز مانع تا نقطه اتکای اهرم (لولا) ۱۵۰ میلی‌متر

۴. فاصله مانع تا دهانه شیپوره (S) ۳۵ میلی‌متر

لازم به ذکر است باتوجه به مشخصات دستگاه از قبیل جرم وزنه متحرک و فواصل اتصالات، نیروی تجربی (F_e) موثر بر مانع را می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد.

$$F_e = 4g\Delta x \quad \text{معادله (۶)}$$

در این رابطه g شتاب گرانش زمین در سیستم متریک (9.81 m/s^2) و Δx جابه‌جایی وزنه متحرک بر حسب متر است.

محاسبات و نتایج

۱. جداول (۱) و (۲) را برای سطح صاف و نیم‌کره‌ای کامل نمایید.

جدول ۱- محاسبات نیروی تئوری و تجربی موثر بر مانع صاف

ردیف	m(kg)	t(s)	$\Delta x(mm)$	$\dot{m}(\frac{kg}{s})$	$u(\frac{m}{s})$	$u_0(\frac{m}{s})$	$\dot{m}u_0(N)$	$F_e(N)$	$F_t(N)$
۱									
۲									
۳									
۴									
۵									
۶									
۷									
۸									

جدول ۲- محاسبات نیروی تئوری و تجربی موثر بر مانع نیم کره‌ای

ردیف	m(kg)	t(s)	$\Delta x(mm)$	$\dot{m}(\frac{kg}{s})$	$u(\frac{m}{s})$	$u_0(\frac{m}{s})$	$\dot{m}u_0(N)$	$F_e(N)$	$F_t(N)$
۱									
۲									
۳									
۴									
۵									
۶									
۷									
۸									

۲. نمودار $F_e(N)$ بر حسب $F_t(N)$ را برای هر مانع جداگانه ترسیم کنید.

۳. اگر تغییرات رسم شده نیروی تئوری بر حسب نیروی تجربی از مبدا نگذرد چه دلیلی برای آن دارید؟

۴. مقادیر نیروی تجربی و تئوری محاسبه شده برای هر مانع را مقایسه و دلایل اختلاف آنرا شرح دهید.

۵. معادله (۶) را برای این دستگاه اثبات کنید.

۶. نقش نیروهای اصطکاک را در مانع نیم کره‌ای و صاف بررسی نمایید.

آزمایش وسایل اندازه‌گیری دبی (ونتوری - اوریفیس - روتامتر)

(Flow Measurement)

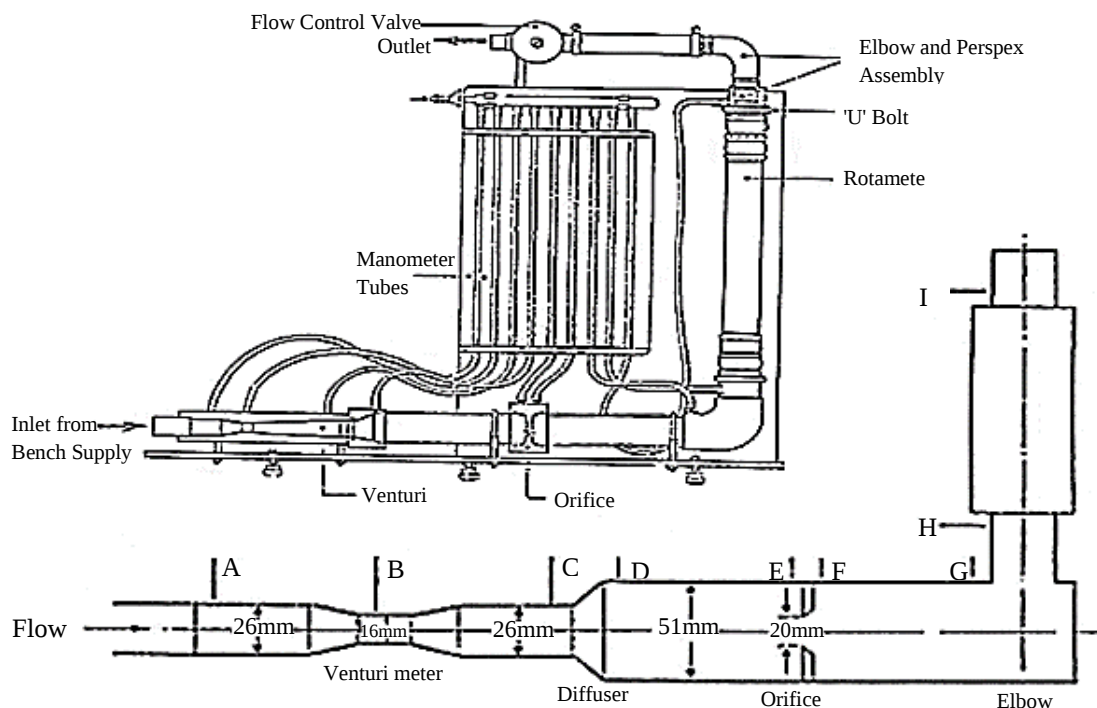
هدف آزمایش

هدف از این آزمایش اندازه‌گیری دبی سیال با استفاده از ونتوری، اوریفیس و روتامتر و همچنین محاسبه و مقایسه ضریب افت انرژی برای هر کدام از دبی‌سنج‌ها، دیفیوزر و زانویی نصب شده در دستگاه می‌باشد.

تئوری آزمایش

الف: تعیین دبی جریان: به کمک معادله برنولی بین مقاطع مختلف لوله ونتوری، اوریفیس و روتامتر می‌توان روابطی جهت تعیین دبی جریان به دست آورد که اصول آن بر مبنای اندازه‌گیری افت فشار بین آن مقاطع می‌باشد. اگر جریان آب از وسایل مورد آزمایش، مطابق شکل (۱) باشد برای هر کدام از سه وسیله فوق می‌توان روابط تئوری، جهت محاسبه دبی به دست آورد. **ونتوری متر:** به کمک رابطه برنولی و با صرف نظر کردن از افت انرژی بین مقاطع ورودی و گلوگاه می‌توان رابطه (۱) را جهت محاسبه دبی در ونتوری به کار برد.

$$Q_t = A_B V_B = A_B \sqrt{\frac{2g(h_A - h_B)}{1 - \left(\frac{A_B}{A_A}\right)^2}} \quad \text{معادله (۱)}$$



شکل ۱- شکل و ابعاد دستگاه مورد آزمایش

که در آن A_A و A_B به ترتیب سطح مقطع A و B و همچنین h_A و h_B ارتفاع آب در لوله‌های پیزومتری می‌باشند.

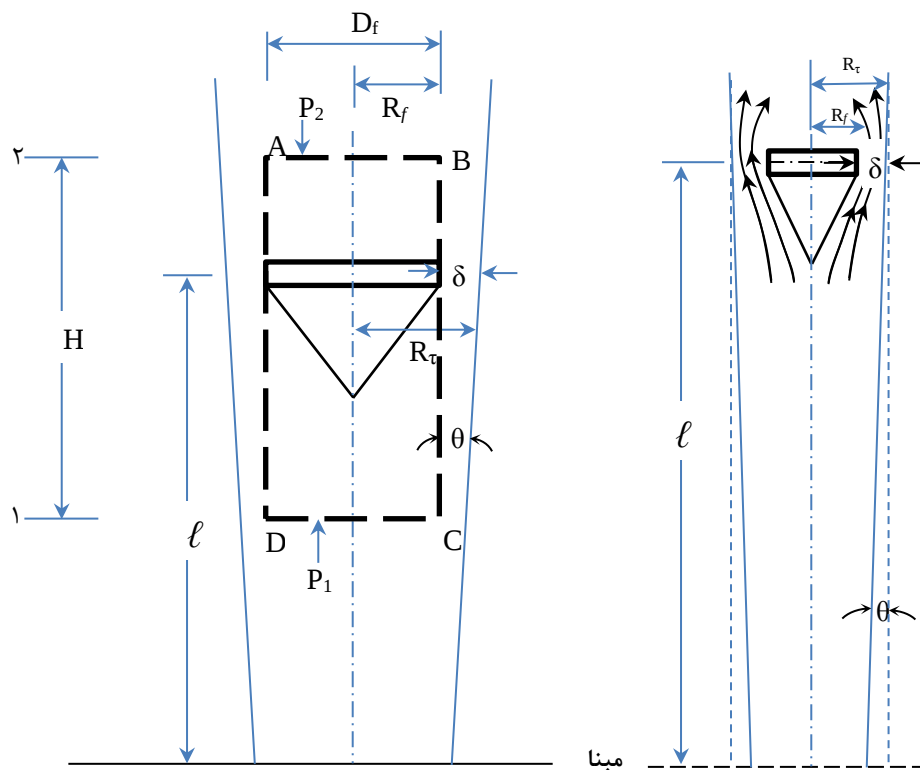
اوریفیس متر: به علت شکل خاص اوریفیس متر که بین مقاطع E و F نصب شده است افت انرژی کم نبوده و نمی‌توان در به کار بردن برنولی از آن صرف نظر نمود. با توجه به اینکه اختلاف ارتفاع‌های پیزومترهای E و F خود ناشی از افت انرژی بین این مقاطع هم می‌باشد. لذا می‌توان به کمک رابطه برنولی نتیجه گرفت که:

$$Q = A_F V_F = K A_F \sqrt{\frac{2g(h_E - h_F)}{1 - \left(\frac{A_F}{A_E}\right)^2}} \quad \text{معادله (۲)}$$

در آن K ضریب تخلیه دستگاه می‌باشد و برای اوریفیس خاص نصب شده روی دستگاه مقدار آن 0.601 است. دقت شود که در مقاطع E و F قطر مقاطع جریان به ترتیب 51 و 20 میلی‌متر می‌باشد.

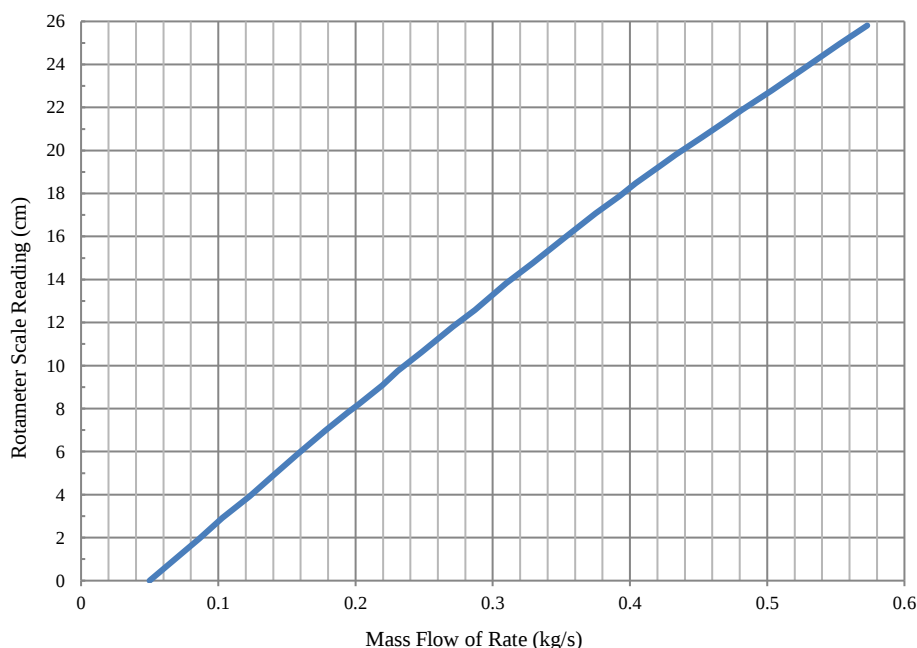
روتامتر: با انتخاب حجم کنترلی مطابق شکل (۲) که شامل مخروط شناور باشد و با به کار بردن رابطه برنولی و تغییرات مقدار حرکت بین مقاطع 1 و 2 می‌توان نتیجه گرفت که سرعت سیال در اطراف شناور ثابت است. اگر مقدار سرعت سیال را با V و سطح مقطع گذر سیال را با A_F نشان دهیم می‌توان مقدار دبی سیال را از رابطه (۳) که در آن θ بر حسب رادیان است، به دست آورد.

$$Q = A_F V = (\pi D_F \theta V) l \quad \text{معادله (۳)}$$



شکل ۲- روتامتر

مشاهده می‌شود که مقدار دبی در روتامتر، فقط به صورت خطی به L بستگی دارد. با توجه به این که رابطه Q و L برای هر روتامتر معلومی خطی می‌باشد، بنابراین این تغییرات خطی برای روتامتر مورد آزمایش در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳- تغییرات دبی جرمی بر حسب محل قرارگرفتن شناور روتامتر

ب: **تعیین ضرایب افت:** به کمک رابطه برنولی می‌توان 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 می‌دهند.

$$\Delta H_{MN} = K \frac{V_M^2}{2g} \quad \text{معادله (۴)}$$

حال با تعیین افت انرژی و انرژی جنبشی ورودی می‌توان ضریب افت (K) هر قسمت را به کمک روابط زیر به دست آورد.

ونتوری متر: با توجه به اینکه قطر ونتوری در مقاطع ورودی و خروجی آن برابر است لذا افت انرژی آن از رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$\Delta H_{AC} = h_A - h_C \quad \text{معادله (۵)}$$

از طرف دیگر با توجه به رابطه پیوستگی و برنولی بین مقاطع ورودی و گلوگاه و معلوم بودن نسبت سطوح دو مقطع که برابر با ۰/۳۸ است (قطر ورودی ونتوری ۲۶ میلی‌متر و قطر گلوگاه آن ۱۶ میلی‌متر) انرژی جنبشی ورودی محاسبه می‌گردد.

$$\frac{V_A^2}{2g} = 0.168 (h_A - h_B) \quad \text{معادله (۶)}$$

به کمک روابط (۵) و (۶) می‌توان ضریب افت انرژی ونتوری را از رابطه (۴) به دست آورد.

اوریفیس متر: با توجه به نسبت قطر ورودی اوریفیس متر به ونتوری متر که تقریباً برابر 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.

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

حال با تعیین این مقادیر می توان ضریب افت انرژی در اوریفیس متر را به دست آورد.

روتامتر: افت انرژی در روتامتر از رابطه (۸) قابل محاسبه است.

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

همان طور 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.

دیفیوزر (انبساط مخروطی): به کمک معادله برنولی افت انرژی در انبساط مخروطی از رابطه (۹) قابل محاسبه است.

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

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

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

زانویی ۹۰ درجه: به کمک رابطه برنولی بین نقاط G و H (ورودی و خروجی زانویی) و همچنین رابطه تعادلی در لوله های پیژومتری (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) به دست آورد.

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

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

شرح دستگاه و روشی آزمایش

دستگاه مورد آزمایش مطابق شکل (۱) از قسمت های ونتوری، دیفیوزر، اوریفیس، زانویی ۹۰ درجه و روتامتر تشکیل شده است. در قسمت خروجی دستگاه، شیری جهت تنظیم دبی نصب گردیده است. اصول اندازه گیری دبی در سه قسمت ونتوری، اوریفیس و روتامتر یکسان است. گرچه ساخت ونتوری نسبت به اوریفیس مشکل تر است، اما افت انرژی جریان عبوری از آن کم تر می باشد.

انتخاب نوع وسیله جهت تعیین دبی در تاسیسات هیدرولیکی بستگی به شرایط کارکرد دارد. در قسمت‌های مختلف دستگاه ۹ پیزومتر جهت اندازه‌گیری فشار نصب شده است.

برای شروع آزمایش می‌بایست دستگاه را تنظیم نمود و سپس با روشن کردن دستگاه، شیر خروجی را طوری باز نمود که اولین پیزومتر در بالاترین سطح مقیاس و آخرین پیزومتر در پایین‌ترین سطح مقیاس قرار گیرد.

با یادداشت نمودن ارتفاع پیزومترها و مقیاس روتامتر می‌توان مقدار دبی وسایل اندازه‌گیری را محاسبه و با مقدار اندازه‌گیری شده توسط میز هیدرولیک مقایسه کرد. از طرفی با داشتن ارتفاع پیزومترها می‌توان ضرایب افت هر پنج قسمت ونتوری، دیفیوزر، اوریفیس، زانویی و روتامتر را نیز تعیین نمود.

جهت تعیین تغییرات این ضرایب با دبی بهتر است با کم کردن دبی توسط شیر خروجی دستگاه، آزمایش را در در ۱۰ مرحله انجام داد.

محاسبات و نتایج

۱. بعد از انجام آزمایش و تکمیل محاسبات، جدول (۱) و (۲) را کامل کنید.

جدول ۱- مقایسه دبی تجربی و تئوری در وسایل اندازه‌گیری مختلف

ردیف	ارتفاع مانومترها بر حسب میلیمتر									مقیاس روتامتر (cm)	m(kg)	t (s)	$\dot{m}_{exp}(\frac{kg}{s})$	$\dot{m}(\frac{kg}{s})$		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I					روتامتر	اوریفیس	ونتوری
۱																
۲																
۳																
۴																
۵																
۶																
۷																
۸																

جدول ۲- ضرایب افت انرژی

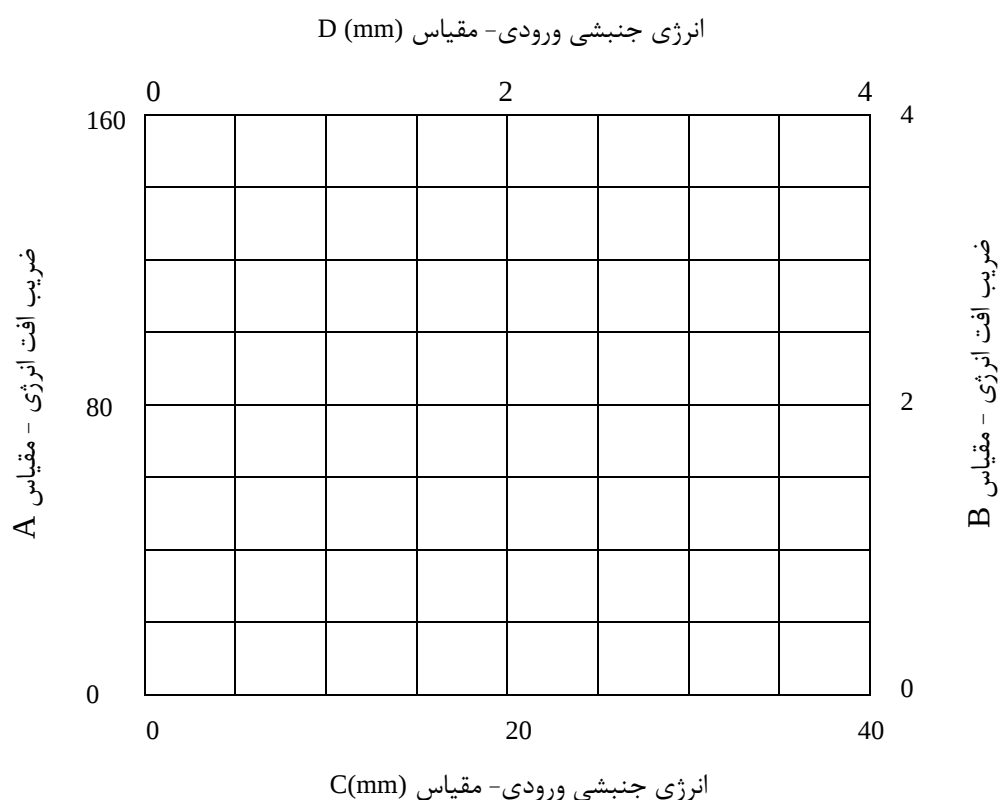
ردیف	زانبوی			دیفیوزر			روتامتر			اوریفیس			ونتوری		
	ΔH_{GH}	$\frac{V_G^2}{2g}$	K	ΔH_{CD}	$\frac{V_C^2}{2g}$	K	ΔH_{HI}	$\frac{V_H^2}{2g}$	K	ΔH_{EF}	$\frac{V_E^2}{2g}$	K	ΔH_{AC}	$\frac{V_A^2}{2g}$	K
۱															
۲															
۳															
۴															
۵															
۶															
۷															
۸															

۲. تغییرات دبی جرمی به دست آمده از ونتوری متر، اوریفیس متر و روتامتر را بر حسب دبی جرمی به دست آمده توسط میز هیدرولیک (تجربی) بر روی یک نمودار رسم نمایید. نتیجه‌ای که از این نمودار به دست می‌آورد را ذکر نمایید.
۳. تغییرات ضریب افت انرژی (K)، هر قسمت دستگاه را بر حسب هد جنبشی ورودی آن قسمت، در مقیاس زیر رسم کنید و بحث نمایید.

ونتوری متر و انبساط مخروطی: مقیاس B و C

اوریفیس متر و زانویی: مقیاس A و D

روتامتر: مقیاس C و A



۴. رابطه (۹) را برای انبساط مخروطی اثبات کنید.
۵. نصب هر سه وسیله دبی‌سنج را در تاسیسات هیدرولیکی با هم مقایسه کنید و تحقیق نمایید امروزه در صنعت از چه وسایلی برای اندازه‌گیری دبی استفاده می‌کنند.

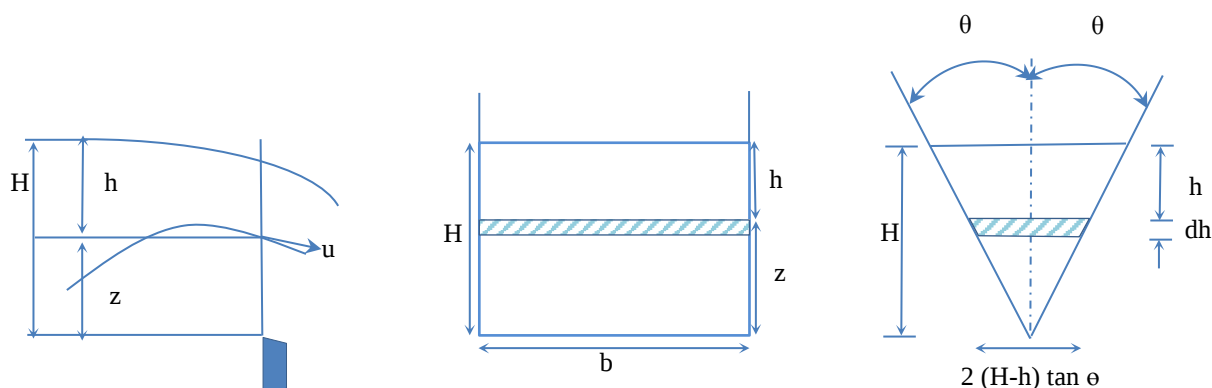
آزمایش سرریز (Flow over a Notch)

هدف آزمایش

هدف از این آزمایش بررسی دبی از سرریزهایی با طرحهای هندسی متفاوت و محاسبه رابطه‌ای تجربی بین دبی و ارتفاع آب از لبه سرریز می‌باشد. همچنین با کالیبره (مدرج) نمودن سرریز می‌توان ضریب تخلیه چند نوع سرریز را تعیین نموده و تغییرات آن را با نوع سرریز، دبی و ارتفاع آب بررسی نمود.

تئوری آزمایش

سرریزها که معمولاً به صورت اشکال هندسی منظم از قبیل مستطیلی، مثلثی و... ساخته می‌شوند در مسیر رودخانه‌ها و کانال‌های روباز برای اندازه‌گیری دبی حجمی قرار داده می‌شوند. با نوشتن رابطه‌ی برنولی بین نقطه‌ای دور از لبه سرریز (که بتوان سرعت آب را در آن نقطه ناچیز فرض کرد) و نقطه‌ای روی لبه سرریز می‌توان سرعت آب را بر حسب ارتفاع h حساب نمود. سپس با داشتن این مقدار سرعت و سطح المانی از مقطع جریان، می‌توان دبی حجمی المان و در نتیجه تمام سطح مقطع جریان را تعیین کرد.



شکل ۱- جریان آب از روی سرریز مثلثی متقارن و مستطیلی

بعد از محاسبات و انتگرال‌گیری، دبی تئوری جریان از روی سرریز مستطیلی و مثلثی به ترتیب از رابطه (۱) و (۲) محاسبه می‌شود.

$$Q_t = \frac{2}{3} \sqrt{2g} b H^{3/2} \quad \text{معادله (۱)}$$

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

می‌دانیم که در عمل به علت انقباض سطح مقطع آب خروجی از سرریز و عوامل دیگر مقدار دبی تجربی کمتر از مقدار تئوری است، بنابراین در عمل رابطه دبی حجمی واقعی و ارتفاع سرریز مستطیلی و مثلثی به صورت زیر است.

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

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

که در آن C ضریب تخلیه سرریز نامیده می‌شود.

به‌طور کلی در وسایل اندازه‌گیری دبی حجمی توسط سرریزهای معین، رابطه تغییرات دبی بر حسب ارتفاع به‌صورت رابطه (۵) می‌باشد.

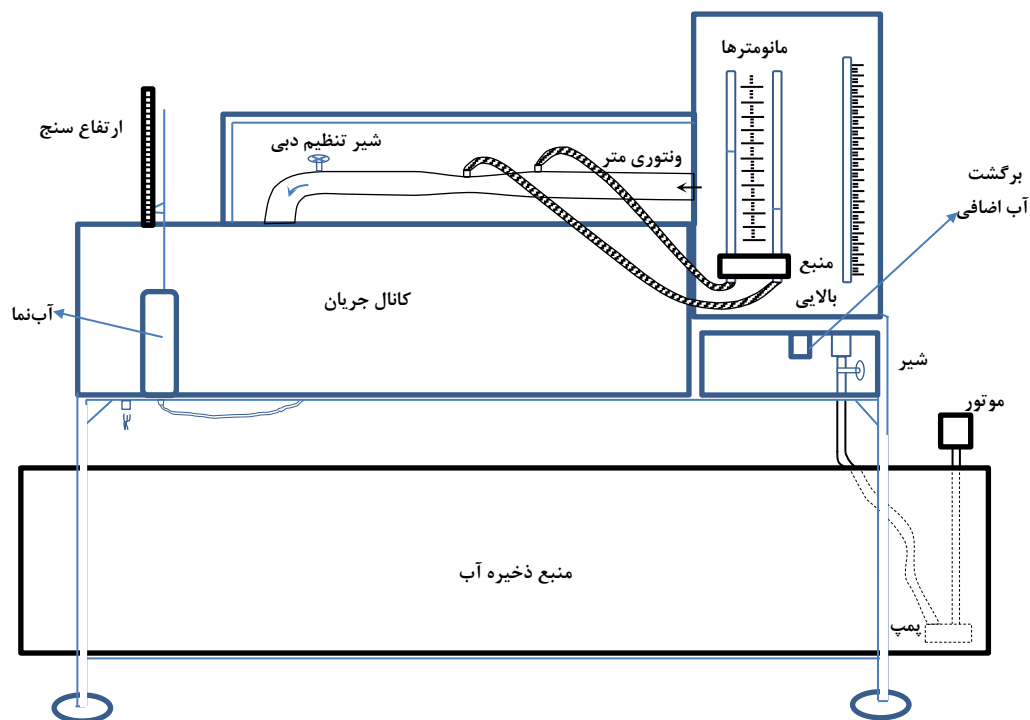
$$Q_e = KH^n \quad \text{معادله (۵)}$$

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

شرح دستگاه و روش آزمایش

قسمت‌های اصلی دستگاه تشکیل شده است از منبع پایینی جهت ذخیره آب، منبع بالایی جهت تامین آب عبوری با فشار ثابت و کانالی روباز که در مسیر آن انواع سرریزها نصب می‌شوند. آب توسط پمپی از منبع ذخیره به منبع بالایی منتقل شده و در داخل آن در ارتفاع ثابتی قرار می‌گیرد. آب اضافی پمپ شده توسط یک لوله برگشت به منبع ذخیره برمی‌گردد. آب از قسمت پایین منبع فوقانی خارج شده و بعد از عبور از ونتوری‌متر که در این آزمایش خود به‌عنوان وسیله اندازه‌گیری دبی واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد به داخل کانال ریخته می‌شود. در انتهای کانال، سرریز مورد آزمایش نصب شده است که آب بعد از عبور از روی سرریز مجدداً به منبع ذخیره برمی‌گردد.

ابتدا سطح آب در کانال را تا لبه سرریز تنظیم نموده و با تنظیم شاخص با سطح آب در آب‌نمای مقابل کانال به‌عنوان ارتفاع مرجع می‌توان ارتفاع آب از لبه سرریز در کانال را با تقریب دهم میلیمتر هنگام آزمایش خواند. آب‌نما از قسمت زیرین به کف کانال متصل بوده و طبق قانون ظروف مرتبط سطح آب در آن منطبق با سطح آب در کانال است.



شکل ۲- شماتیک دستگاه آزمایش سرریز

برای شروع بهتر است 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 آب‌نمای جانبی این منبع مشخص است.
۳. جهت تنظیم سطح صفر کانال شیر ونتوری را کمی باز می‌کنیم تا آب به لبه پایینی سرریز برسد و سپس می‌بندیم. در این حال نوک سوزن شاخص در آب‌نمای ارتفاع سنج می‌بایست با سطح آب در استوانه شیشه‌ای منطبق شده و صفر ورنیه تنظیم گردد.
۴. شیر ونتوری را مجدداً باز می‌کنیم تا اختلاف ارتفاعی حدود ۳۰ الی ۳۵ سانتی‌متر بین مانومترهای ورودی و گلوگاه ونتوری ایجاد گردد و سپس ارتفاع مانومترها و ارتفاع آب در کانال از لبه سرریز را اندازه گرفته و یادداشت می‌کنیم.
۵. شیر ونتوری‌متر را کمی می‌بندیم تا اختلاف مانومترهای آن حدوداً ۳ الی ۴ سانتی‌متر کم گردد و مجدداً ارتفاع مانومترها و ارتفاع سطح آب در کانال را اندازه‌گیری نموده و یادداشت می‌نماییم. این عمل را برای ۸ الی ۱۰ نقطه انجام می‌دهیم. برای قرائت ارتفاع آب توسط شاخص به‌قدری صبر کنید تا ارتفاع آن ثابت گردد.
۶. در پایان به ترتیب شیر ونتوری و شیر خروجی پمپ را می‌بندیم. سپس پمپ را خاموش نموده و با وسایل لازم نوع سرریز را عوض کرده و آزمایش فوق را برای سرریز جدید انجام می‌دهیم.

محاسبات و نتایج

۱. برای سرریز مثلثی و مستطیلی مورد آزمایش جدول (۱) و (۲) را کامل کنید.

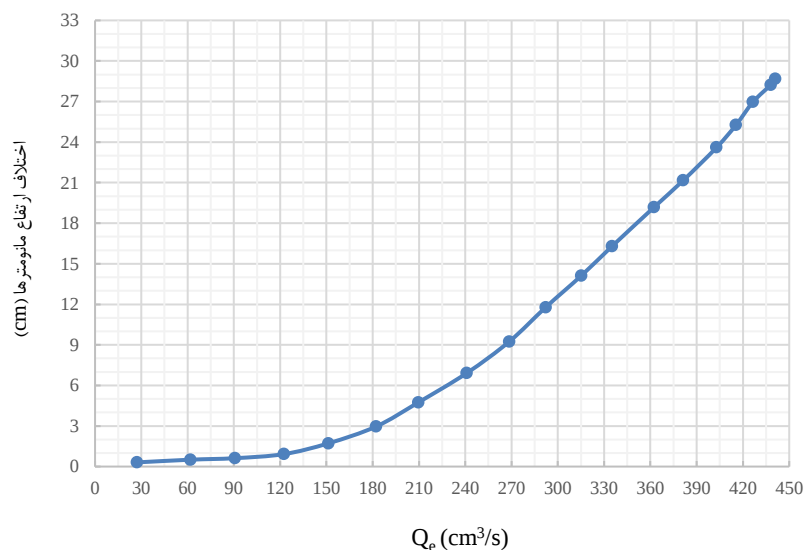
جدول ۱- مقادیر دبی تئوری و تجربی برای سرریز مثلثی

ردیف	مانومترهای ونتوری متر			$Q_e(\text{cm}^3/\text{s})$	$H(\text{cm})$	$\text{Log}(Q_e)$	$\text{Log}(H)$	$Q_t(\text{cm}^3/\text{s})$	C
	$h_1(\text{mm})$	$h_2(\text{mm})$	$h_1-h_2(\text{mm})$						
۱									
۲									
۳									
۴									
۵									
۶									
۷									
۸									

جدول ۲- مقادیر دبی تئوری و تجربی برای سرریز مستطیلی

ردیف	مانومترهای ونتوری متر			$Q_e(\text{cm}^3/\text{s})$	$H(\text{cm})$	$\text{Log}(Q_e)$	$\text{Log}(H)$	$Q_t(\text{cm}^3/\text{s})$	C
	$h_1(\text{mm})$	$h_2(\text{mm})$	$h_1-h_2(\text{mm})$						
۱									
۲									
۳									
۴									
۵									
۶									
۷									
۸									

لازم به ذکر است برای به دست آوردن دبی تجربی (Q_e) با تعیین اختلاف ارتفاع مانومترها، از منحنی کالیبراسیون ونتوری در زیر استفاده می نماییم.



شکل ۳- منحنی کالیبراسیون ونتوری متر

۲. مقادیر دبی تجربی (Q_e) را بر حسب ارتفاع آب از لبه سرریز (H) برای سرریز مثلثی و مستطیلی جداگانه ترسیم نمایید.

۳. مقادیر $\text{Log}(Q_e)$ را بر حسب $\text{Log}(H)$ برای هر سرریز جداگانه رسم نموده و به کمک آن مقادیر n و k تجربی را به دست آورید و جدول زیر را کامل کنید.

جدول ۳- مقایسه مقادیر تئوری و تجربی n و k

سرریز مستطیلی				سرریز مثلثی با زاویه ----			
تجربی		تئوری		تجربی		تئوری	
n	K	n	K	n	K	n	K

آیا نقاط $\text{Log}(Q_e)$ و $\text{Log}(H)$ روی یک خط مستقیم قرار دارند؟ اگر جواب منفی است علت آن چیست؟

۴. نمودار تغییرات (Q_e) بر حسب ضریب تخلیه (C) را ترسیم کنید و درباره آن بحث نمایید.

۵. اگر تعدادی سرریز مستطیلی با پهنای متفاوت یا سرریز مثلثی با زوایای متفاوت در اختیار داشته باشیم به کمک آن‌ها چه آزمایشی می‌توان انجام داد؟

۶. به کمک مقدار تجربی K برای هر سرریز مقدار C متوسط را محاسبه نمایید.

۷. اگر در خواندن ارتفاع آب از لبه سرریز مثلثی و مستطیلی خطایی را مرتکب شویم، این خطا در تعیین دبی جریان چه تاثیری دارد؟

۸. 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

به دست آورده و با نتایج خود مقایسه کنید و بررسی نمایید ضریب تخلیه در سرریز به چه پارامترهایی وابسته

است؟

۹. معادله (۱) و (۲) را اثبات کنید.

۱۰. تحقیق کنید امروزه در سدها برای اندازه گیری دبی از چه وسایلی استفاده می کنند و طرز عملکرد آن ها چگونه

است؟

آزمایش کاویتاسیون

(Cavitation)

هدف آزمایش

بررسی و مطالعه پدیده کاویتاسیون در مجرای ونتوری

تئوری آزمایش

چنانچه فشار استاتیک در نقطه‌ای از مجرای عبور یک سیال، به حد فشار بخار سیال در درجه حرارت مایع برسد، در این صورت قسمتی از سیال به بخار تبدیل می‌شود و همراه جریان حمل می‌گردد. اگر حباب‌ها به نقطه‌ای بالاتر برسند، حباب‌های گاز به سرعت از بین می‌روند و دوباره تبدیل به مایع می‌شوند که این تولید و انهدام حباب‌ها اثرات نامطلوبی در سیستم‌های هیدرولیکی به جا می‌گذارد.

با صرف نظر از افت‌ها و با استفاده از رابطه برنولی در یک مجرای عبور سیال، مقدار هد کل برابر مجموع هد ارتفاع، هد فشار استاتیک و هد دینامیک بوده و عددی ثابت است. در صورتی که روی خط جریان با عواملی مانند افزایش ارتفاع، افزایش سرعت سیال و ... مواجه شویم، هد ارتفاع یا هد دینامیک و یا هر دو افزایش یابند چون هد کل ثابت است بنابراین هد فشار استاتیک کاهش می‌یابد و این کاهش فشار تا حد فشار بخار، مجاز است. ولی کاهش بیشتر آن سبب بروز کاویتاسیون می‌شود. کاویتاسیون در تجهیزات هیدرولیکی که مسئله جدایی سیال در آنها مطرح است نیز ممکن است پدید آید. در پدیده کاویتاسیون تولید حباب‌های گاز مشکلی ایجاد نمی‌کند بلکه انهدام حباب‌ها است که باعث ایجاد اثرات نامطلوب و خرابی در سیستم می‌گردد، به طوری که فشارهای موضعی شدید ایجاد کرده و باعث خوردگی^۱ و کنده شدن ذرات جداره^۲ می‌شود. به طور کلی اثرات نامطلوب ناشی از بروز کاویتاسیون شامل خوردگی و کندگی، ایجاد ارتعاش در سیستم، ایجاد سر و صدا و کاهش راندمان کلی سیستم می‌باشد.

¹ - Erosion

² - Pitting

شرح دستگاه و روش آزمایش

دستگاه آزمایش از یک میز هیدرولیک، یک ونتوری شفاف، مخزن و پمپ تشکیل شده است. ابتدا مخزن آب را پر کرده و توسط کلید خاموش- روشن دستگاه را روشن نمایید و مقدار دمای آنرا یادداشت کرده و سپس توسط کلید مربوط به پمپ، آب را از درون مخزن به داخل ونتوری وارد کنید.

بر روی پنل دستگاه سه عدد فشارسنج نصب شده است که فشار در ورودی، گلوگاه (فشار منفی) و خروجی ونتوری را به صورت نسبی اندازه گیری می کند (قطر مقطع ورودی و خروجی ونتوری ۱۸ میلی متر و مقطع گلوگاه ۳/۲ میلی متر است). دبی جریان عبوری ونتوری نیز به وسیله شیر کنترل قبل از آن تنظیم می گردد و مقدار دبی آب را از روی روتامتر نصب شده بر روی دستگاه می توانیم بخوانیم. برای چندین دبی مختلف فشار ورودی، گلوگاه و خروجی ونتوری و همچنین مشاهدات خود را در حین آزمایش یادداشت نمایید.



شکل ۱- دستگاه کاویتاسیون در ونتوری

محاسبات و نتایج

۱. جدول (۱) را کامل کرده، بر روی آن بحث نمایید و مشاهدات خود را در حین آزمایش شرح دهید.

جدول ۱- نتایج آزمایش کاویتاسیون

فشار گلوگاه (bar)	دبی (LPM)	ردیف
		۱
		۲
		۳
		۴
		۵

۲. فشار کاویتاسیون آب در دمای اندازه‌گیری شده را از جداول ترمودینامیکی بیابید و با فشار محاسبه شده مقایسه کنید

و علل اختلاف آنها را شرح دهید.

۳. عدد کاویتاسیون چیست درباره‌ی آن توضیح دهید.

۴. اهمیت کاویتاسیون در لوله‌های آب گرم را بررسی کنید؟

۵. آیا کاویتاسیون به مرزهای جامد اطراف خود آسیب می‌رساند؟ چرا و چگونه؟

۶. برای جلوگیری از بروز کاویتاسیون در پمپ‌ها چه راه کارهایی را پیشنهاد می‌کنید؟

۷. فواید کاویتاسیون را در دو دستگاه بررسی کنید و چگونگی عملکرد آن‌ها را تشریح نمایید.

آزمایش مرکز فشار (Center of Pressure)

هدف آزمایش

هدف از این آزمایش تعیین مرکز فشار سطح در حالت مستغرق و نیمه مستغرق در سیال تراکم‌ناپذیر ساکن و مقایسه نیروی هیدرواستاتیک تئوری و تجربی می‌باشد.

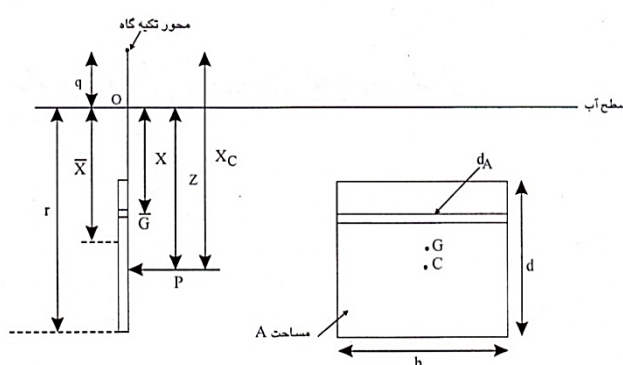
تئوری آزمایش

به نقطه‌ای که برآیند نیروهای فشاری از طرف سیال بر یک صفحه از آن نقطه عبور کند، مرکز فشار گفته می‌شود. برای طراحی یک سازه، یافتن مرکز فشار حاصل از سیال بر آن سازه لازم است. به عنوان مثال برای کنترل پایداری یک سد لازم است مقدار، جهت و محل اثر نیروهای وارد از آب به سد محاسبه شود. سطحی که فشار آب بر آن وارد می‌شود ممکن است صاف یا منحنی باشد. در این آزمایش به مطالعه مرکز فشار سطح صاف، در دو حالتی که این سطح به صورت کامل یا ناقص در سیال غوطه‌ور است، می‌پردازیم.

فشار مایع نسبت به عمق آن به صورت خطی زیاد می‌شود. نیروی فشاری وارد بر جدار مسطح یک جسم، همگی موازی و هم‌جهت هستند که می‌توان به جای این نیروها، برآیند آن‌ها را که معادل نیروی (F) می‌شود، جایگزین نمود. اندازه نیروی کلی فشار سیال برابر حاصل ضرب فشار مایع در مرکز ثقل سطح، در مساحت (A) می‌باشد (شکل ۱).

$$F = \rho g \bar{X} A$$

معادله (۱)



شکل ۱- محاسبه نیروی هیدرواستاتیک وارد بر سطوح

ارتفاع مرکز سطح ($\bar{X}$)، از سطح آب است. برای محاسبه مرکز فشار کافی است که برآیند نیروها نسبت به یک صفحه را مساوی با لنگر نیروهای جز نسبت به همان صفحه قرار دهیم. به عبارت دیگر داریم:

$$F.Z = \int X.dF \quad \text{معادله (۲)}$$

$$dF = \rho g X dA \quad \text{معادله (۳)}$$

$$dF_{\text{گشتاور نیروی}} = \rho.g.X^2.dA \quad \text{معادله (۴)}$$

در رابطه بالا Z ارتفاع مرکز فشار و X ارتفاع هر المان از سطح آب می‌باشد. از آنجایی که $X^2.dA$ ممان اینرسی نسبت به نقطه O است، $(I_{oo} = \int X^2.dA)$ بنابراین داریم:

$$F.Z = \rho.g.I_{oo} \quad \text{معادله (۵)}$$

$$\rho.g.\bar{X}.A.Z = \rho.g.I_{oo} \quad \text{معادله (۶)}$$

$$Z = \frac{I_{oo}}{A.\bar{X}} \quad \text{معادله (۷)}$$

از طرف دیگر مطابق تئوری هاگن، ممان اینرسی یک سطح نسبت به یک محور برابر است با ممان اینرسی آن سطح نسبت به محوری که از مرکز ثقلش به موازات محور مزبور رسم می‌شود، به‌علاوه حاصل ضرب مساحت سطح در مجذور فاصله مرکز ثقل از محور، یعنی:

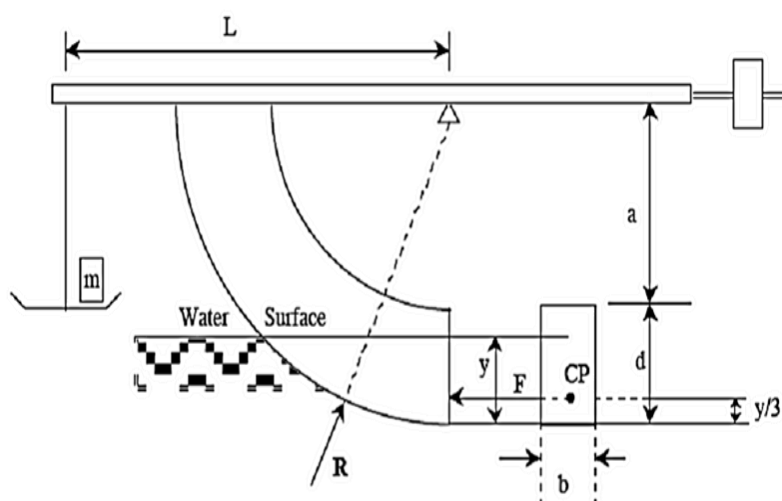
$$I_{oo} = I_{gg} + A.\bar{X}^2 \quad \text{معادله (۸)}$$

بنابراین داریم:

$$Z = \frac{I_{gg} + A.\bar{X}^2}{A.\bar{X}} \quad \text{معادله (۹)}$$

$$Z = \frac{I_{gg}}{A.\bar{X}} + \bar{X} \quad \text{معادله (۱۰)}$$

الف) حالت نیمه مستغرق: برای حالتی که سطح نیمه مستغرق ($y < d$) باشد، داریم:



شکل ۲- ربع دایره در حالت نیمه مستغرق

$$A = b \cdot y \quad \bar{X} = y/2 \quad I_{gg} = \frac{by^3}{12} \quad Z = \frac{2y}{3} \quad \text{معادله (۱۱)}$$

بنابراین نیروی هیدرواستاتیک وارد بر ربع دایره در حالت نیمه مستغرق برابر است با:

$$F_t = \rho \cdot g \cdot \bar{X} \cdot A = \frac{\rho \cdot g \cdot b \cdot y^2}{2} \quad \text{معادله (۱۲)}$$

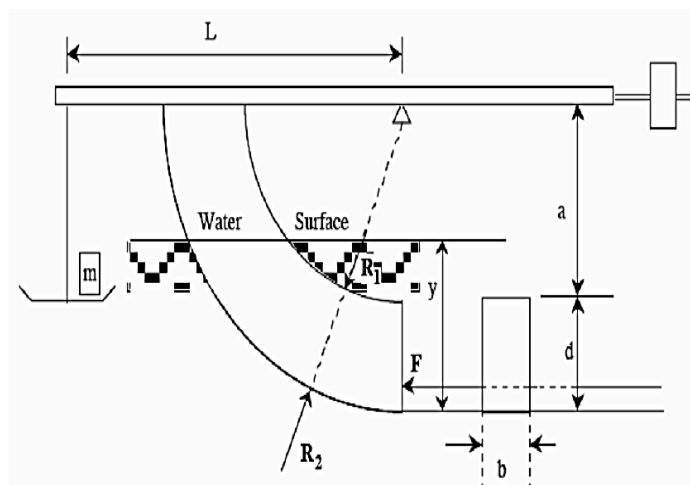
و از طرفی در حالت نیمه مستغرق برای متعادل نمودن کامل ربع دایره مطابق شکل (۲) داریم:

$$m \cdot g \cdot L = F_e \cdot (a + d - y + Z) \quad \text{معادله (۱۳)}$$

$$F_e = \frac{m \cdot g \cdot L}{(a + d - y/3)} \quad \text{معادله (۱۴)}$$

L فاصله طولی کفه بارگذاری از لولای جسم ربع دایره (مرکز گشتاورگیری) می باشد.

ب) حالت مستغرق: برای حالتی که سطح مستغرق $y > d$ باشد، داریم:



شکل ۳- ربع دایره در حالت مستغرق

$$A = b \cdot d \quad \bar{X} = y - d/2 \quad I_{gg} = \frac{bd^3}{12} \quad Z = \bar{X} + \frac{I_{gg}}{A\bar{X}} = y - \frac{d}{2} + \frac{d^2}{12\bar{X}} \quad \text{معادله (۱۵)}$$

بنابراین نیروی هیدرواستاتیک وارد بر آن برابر است با:

$$F_t = \rho g \bar{X} A = \rho g (y - d/2) b d \quad \text{معادله (۱۶)}$$

در حالت مستغرق برای متعادل نمودن کامل ربع دایره مطابق شکل (۳) داریم:

$$m \cdot g \cdot L = F_e \cdot (a + d - y + Z) \quad \text{معادله (۱۷)}$$

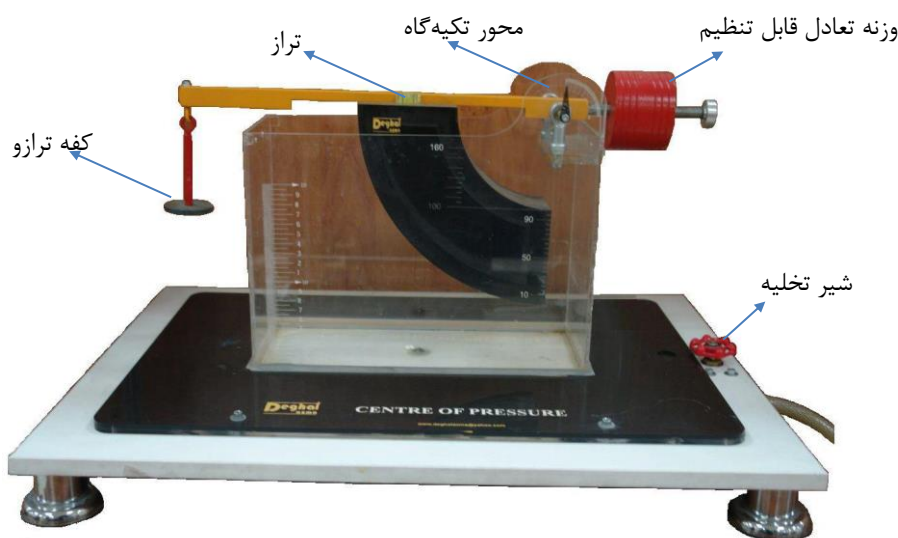
$$F_e = \frac{m g L}{a + d - y + y - \frac{d}{2} + \frac{d^2}{12 \bar{X}}} = \frac{m g L}{a + \frac{d}{2} + \frac{d^2}{12 \bar{X}}} \quad \text{معادله (۱۸)}$$

برای این آزمایش داریم:

$$a = 100mm \quad b = 77mm \quad d = 100mm \quad L = 382mm$$

شرح دستگاه و روش انجام آزمایش

اجزای مختلف دستگاه آزمایش در شکل (۴) نشان داده شده است. ابتدا دستگاه را تراز می‌کنیم، هنگامی که حباب درون آب تراز، در وسط باشد بدین معناست که دستگاه تراز است. بازوی بالانس را با حرکت وزنه تعادل قابل تنظیم به شکل کاملاً افقی (جهت خنثی نمودن وزن ربع دایره، بازو و متعلقات) در آورید. شیر تخلیه را بسته و آب را وارد مخزن می‌کنیم تا سطح آب به لبه پایین ربع دایره مماس شود. یک وزنه روی کفه ترازو قرار داده و با افزایش تدریجی آب به داخل مخزن، بازوی بالانس را به شکل افقی در می‌آوریم. در این حالت سطح آب روی ربع دایره و وزنه‌های روی کفه ترازو را در جدول (۱) یادداشت می‌کنیم.



شکل ۴- اجزای مختلف دستگاه مرکز فشار

با افزایش وزنه‌ها آزمایش را برای چندین حالت نیمه مستغرق و مستغرق تکرار نمایید تا آب به تدریج به بالاترین سطح ربع دایره برسد. برای محاسبه نیروهای هیدرواستاتیک تئوری و عملی و همچنین مرکز فشار، ارتفاع آب و مقدار وزن وزنه‌ها را یادداشت نمایید.

محاسبات و نتایج

۱. در هر دو حالت (مستغرق و نیمه مستغرق) فاصله مرکز فشار تا سطح آزاد مایع، مقدار F_t ، F_e و میزان خطا را محاسبه نمایید و جدول (۱) را کامل و سپس درباره‌ی عوامل خطا نیز بحث کنید.

جدول ۱- محاسبه مرکز فشار و نیرو در حالت مستغرق و نیمه مستغرق

مرحله	ردیف	m (gr)	y (mm)	$\bar{X}$ (mm)	Z (mm)	F_e (N)	F_t (N)	Error (%)
نیمه مستغرق	۱							
	۲							
	۳							
	۴							
	۵							
مستغرق	۱							
	۲							
	۳							
	۴							
	۵							

۲. براساس مقادیر به‌دست آمده در حالت نیمه مستغرق، نمودار تغییرات $\frac{m}{y^2}$ را نسبت به y رسم کنید، شیب و عرض از مبدا آن را به‌دست آورید و با مقادیر تئوری آن مقایسه و بحث کنید (راهنمایی: شیب تئوری این نمودار $\frac{-\rho b}{6L}$ و عرض از مبدا آن $\frac{\rho b(a+d)}{2L}$ است).

جدول ۲- محاسبه شیب و عرض از مبدا در حالت نیمه مستغرق

ردیف	$\frac{m}{y^2} (\frac{kg}{m^2})$	y (m)
۱		
۲		
۳		
۴		
۵		

۳. براساس مقادیر به‌دست آمده در حالت مستغرق، نمودار تغییرات m را نسبت به $y - \frac{d}{2}$ رسم کنید، شیب و عرض از مبدا آن را به‌دست آورید و با مقادیر تئوری آن مقایسه و بحث کنید.

جدول ۳- محاسبه شیب و عرض از مبدا در حالت مستغرق

ردیف	m (kg)	y-d/2 (m)
۱		
۲		
۳		
۴		
۵		

آزمایش افت انرژی جزئی (موضعی) (Losses in Piping System)

هدف آزمایش

هدف از این آزمایش تعیین افت انرژی ناشی از اجزای سیستم لوله‌کشی (مانند زانویی، شیر و تغییرات ناگهانی سطح مقطع لوله) و محاسبه رابطه‌ی بین افت انرژی و سرعت می‌باشد. همچنین تغییرات ضریب اصطکاک با عدد رینولدز، ضریب افت با انرژی جنبشی و تأثیر شعاع انحنای یک خم در مقدار افت انرژی محلی آن نیز بررسی می‌گردد.

تئوری آزمایش

افت انرژی کلی در یک سیستم لوله‌کشی ناشی از دو عامل می‌باشد:

۱- افت انرژی طولی در اثر مقاومت نیروی چسبندگی سیال

۲- افت انرژی موضعی در اثر عواملی از قبیل زانویی، شیر، تغییرات سطح مقطع مسیر و ...

حال هر کدام از این افت‌ها را به طور جداگانه بررسی می‌کنیم.

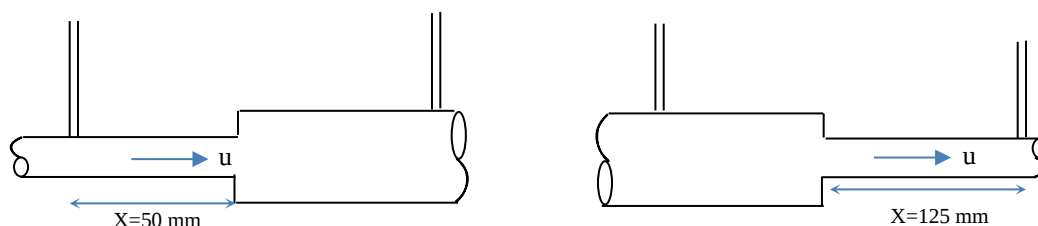
الف- افت انرژی طولی: افت انرژی طولی در لوله‌ای مستقیم به طول L و قطر ثابت d از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$\Delta h_f = f \frac{L u^2}{d 2g} \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن f در محدوده آزمایش تقریباً ثابت و بدون بعد است. مقدار ضریب اصطکاک (f) تابعی از عدد رینولدز جریان و زبری نسبی لوله می‌باشد. در لوله‌های نسبتاً صاف و جریانی با عدد رینولدز بین ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ مقدار f را می‌توان از رابطه بلازیوس (۲) به دست آورد.

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad \text{معادله (۲)}$$

ب- افت انرژی در اثر تغییر ناگهانی سطح مقطع لوله: مطابق شکل (۱) جریان آب در داخل لوله‌ای که سطح مقطع آن به طور ناگهانی تغییر می‌کند را در نظر بگیرید.



شکل ۱- انبساط و انقباض ناگهانی در لوله

اگر افت انرژی در طول L از لوله برابر با Δh_f باشد و از افت انرژی طولی و انرژی جنبشی در قسمت با قطر بزرگتر لوله صرف نظر شود با نوشتن رابطه برنولی بین پیزومترهای نشان داده شده می توان افت جزئی هر قسمت را از روابط (۳) و (۴) به دست آورد.

$$\Delta h_l = \Delta h' + \frac{u^2}{2g} - \Delta h_f \left(\frac{x}{L} \right) \quad \text{معادله (۳) انبساط ناگهانی}$$

$$\Delta h_l = \Delta h' - \frac{u^2}{2g} - \Delta h_f \left(\frac{x}{L} \right) \quad \text{معادله (۴) انقباض ناگهانی}$$

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.

$$\Delta h_l = K \frac{u^2}{2g} \quad \text{معادله (۵)}$$

که در آن K ضریب افت نامیده می شود.

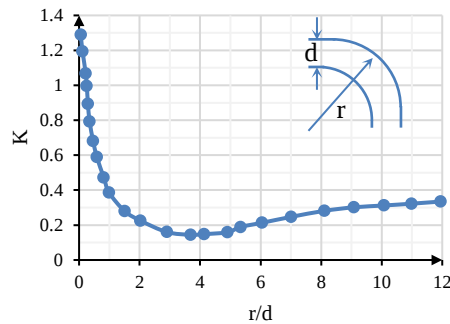
ج- افت انرژی در زانویی ها و خم ها: اگر در دو نقطه از مسیر لوله که بین آن دو نقطه زانویی یا خم وجود داشته باشد دو پیزومتر نصب شود اختلاف ارتفاعی که توسط دو پیزومتر مشخص می شود مربوط به دو عامل است. یکی افت انرژی طولی و دیگری افت جزئی در اثر زانویی. اگر افت انرژی طولی بین دو نقطه Δh_f ، افت جزئی Δh_b و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

$$\Delta h_b = \Delta h' - \Delta h_f \quad \text{معادله (۶)}$$

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

$$\Delta h_b = K \frac{u^2}{2g} \quad \text{معادله (۷)}$$

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 r/d نشان می دهد.



شکل ۲- تغییرات K بر حسب r/d

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

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

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

شرح دستگاه و روش آزمایش

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

مدار آبی تیره شامل قسمت های زیر است:

۱- شیر دریچه ای (Gate valve)

۲- زانویی ۹۰ درجه استاندارد

۳- زانویی ۹۰ درجه راست گوشه (Mitre)

۴- لوله مستقیم به طول ۹۱۴ میلیمتر و قطر ۱۳/۶ میلیمتر

مدار آبی روشن شامل قسمت های زیر است:

۵- شیر کروی (Globe valve)

۶- انبساط ناگهانی

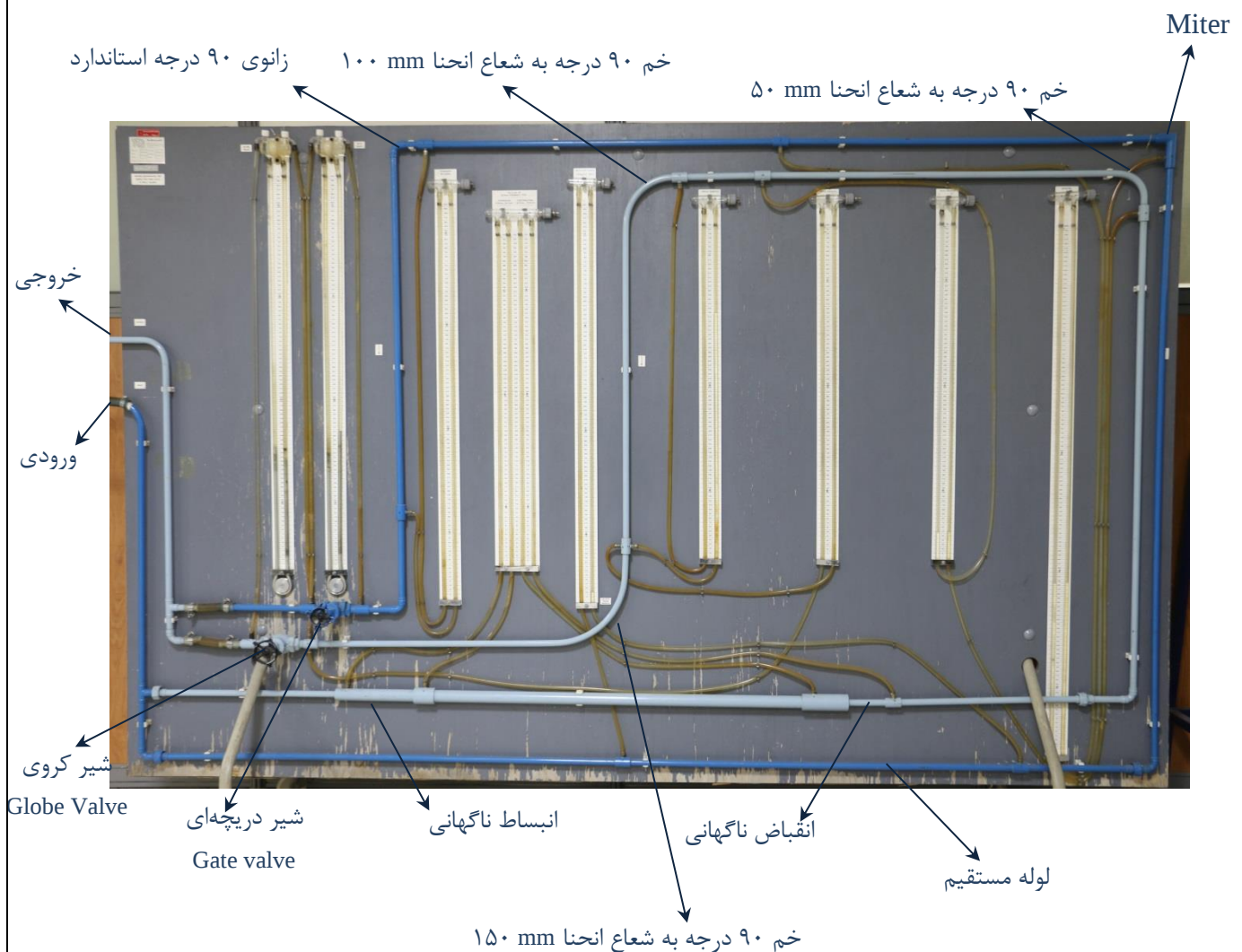
۷- انقباض ناگهانی

۸- خم های ۹۰ درجه به شعاع انحنای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی متر

مشخصات و ابعاد مدارهای آبی تیره و روشن در جدول (۱) درج گردیده است.

جدول ۱- مشخصات و ابعاد لوله‌ها در روی تابلوی دستگاه

شماره پیزومتر	نام اتصال
مانومتر جیوه‌ای	شیر دریچه‌ای (Gate valve)
۲-۱	زانویی ۹۰ درجه استاندارد
۴-۳	لوله مستقیم به قطر ۱۳/۶ mm و به طول ۹۱۴/۴ mm
۶-۵	زانویی ۹۰ درجه راست‌گوشه Mitre
مانومتر جیوه‌ای	شیر کروی Globe valve
۸-۷	انبساط ناگهانی از قطر ۱۳/۶ mm به ۲۶/۲ mm
۱۰-۹	انقباض ناگهانی از قطر ۲۶/۲ mm به ۱۳/۶ mm
۱۲-۱۱	خم ۹۰ درجه به شعاع انحنا ۱۵۰ mm (Bend J)
۱۴-۱۳	خم ۹۰ درجه به شعاع انحنا ۱۰۰ mm (Bend H)
۱۶-۱۵	خم ۹۰ درجه به شعاع انحنا ۵۰ mm (Bend G)



شکل ۳- دستگاه اندازه‌گیری افت موضعی

در تمام اتصالات فوق (به جز دو نوع شیر) افت فشار توسط یک جفت پیزومتر تحت فشار نسبی هوا اندازه‌گیری می‌شود. در حالی که افت فشار در شیرها توسط مانومتر تفاضلی جیوه‌ای تعیین می‌شود. از آزمایش افت فشار در لوله مستقیم یادآوری می‌شود که اگر مانومتر تفاضلی جیوه‌ای اختلاف ارتفاع $\Delta h'$ را نشان دهد برای تبدیل آن بر حسب ستون آب می‌بایست مقدار $\Delta h'$ را در عدد $12/6$ ضرب نمود.

قبل از شروع آزمایش می‌بایست دستگاه را تنظیم نموده و سپس آزمایش را در دو مرحله انجام دهید. در مرحله اول شیر کروی را بسته و شیر دریچه‌ای را به طور کامل باز نموده تا حداکثر جریان آب در مدار آبی تیره برقرار شود. حال توسط خواندن اختلاف ارتفاع پیزومترها می‌توان 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 دریچه‌ای را ببندید و هر بار سطوح آب در پیزومترها را یادداشت نموده و دبی آب را توسط میز هیدرولیک اندازه بگیرید. این عمل را حدوداً ۱۰ بار تکرار نمایید. در طول مراحل فوق دمای متوسط آب را نیز اندازه‌گیری نمایید. بعد از انجام مراحل فوق شیر 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 ارتفاع پیزومترها و اندازه‌گیری دبی آب، افت انرژی کلی و افت انرژی جزئی هر اتصال موجود در مدار آبی روشن را تعیین کنید. برای بررسی افت انرژی جزئی نسبت به افت انرژی جنبشی آب جاری در لوله به تدریج شیر کروی را ببندید و هر بار سطوح آب در پیزومترها را یادداشت نموده و دبی آب را نیز اندازه‌گیری نمایید. این عمل را نیز حدوداً ۱۰ بار تکرار نمایید. در انتهای آزمایش دو شیر را کاملاً بسته و شیر خروجی پمپ را نیز 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

۱. نتایج حاصل از آزمایش مرحله اول را در جدول (۲) و نتایج حاصل از مرحله دوم را در جدول (۳) یادداشت نمایید. سپس جداول فوق را تکمیل نمایید.

جدول ۲- نتایج برای مدار آبی تیره

ردیف	m (kg)	t (s)	V (m/s)	$V^2/2g$ (mm)	Manometer Readings and Differential Heads (mm Water)									U- Tube (mm Hg)		
					Elbow Bend			Straight Pipe			Miter Bend			Gate Valve		
					1	2	$\Delta h'$	3	4	Δh_f	5	6	$\Delta h'$	h_1	h_2	ΔH
۱																
۲																
۳																
۴																
۵																
۶																
۷																
۸																

جدول ۳- نتایج برای مدار آبی روشن

ردیف	m (kg)	t (s)	V (m/s)	$V^2/2g$ (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	ΔH
۱																						
۲																						
۳																						
۴																						
۵																						
۶																						
۷																						
۸																						

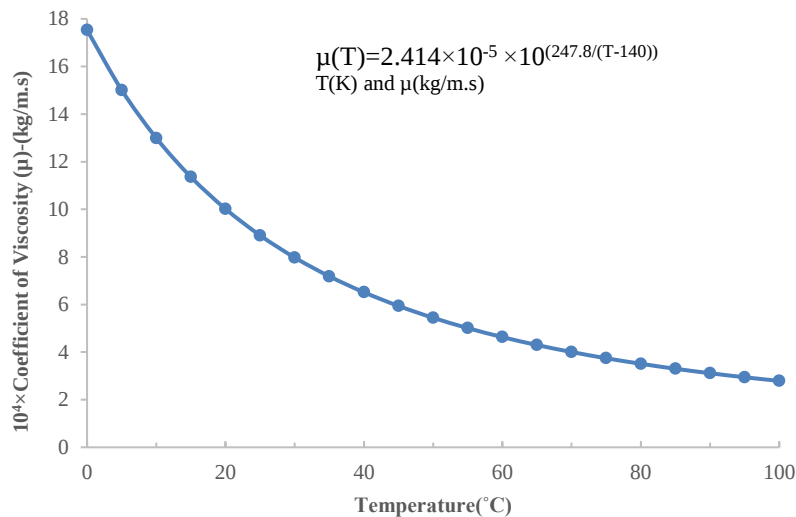
۲. محاسبات مربوط به افت انرژی در هر قسمت از سیستم لوله کشی را مطابق ذیل انجام دهید.

الف- معادلات افت انرژی در لوله مستقیم (مدار آبی تیره): به کمک جدول (۲) مقدار $\log(Q)$ و $\log(\Delta h_f)$ را در

سیستم واحد CGS برای لوله مستقیم تعیین کرده و نمودار $\log(\Delta h_f)$ را بر حسب $\log(Q)$ رسم نمایید. اگر Δh_f

متناسب با Q^n باشد مقدار n را از نمودار رسم شده به دست آورید.

به کمک شکل زیر مقدار ضریب ویسکوزیته آب را در دمای متوسط آزمایش تعیین نمایید.



شکل ۴- ویسکوزیته آب بر حسب دما

حال با داشتن سرعت و افت انرژی طولی در جدول (۲) مقدار عدد رینولدز و ضریب اصطکاک را از رابطه (۱) برای هر

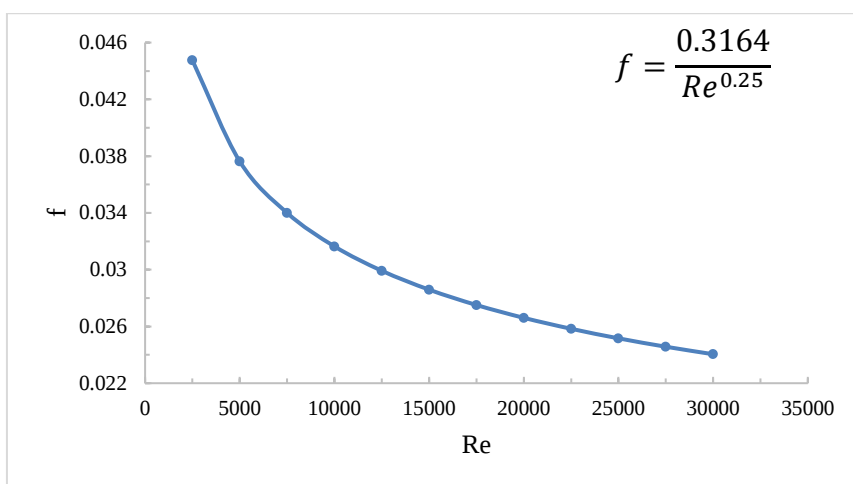
مرحله به دست آورده و سپس جدول (۴) را تکمیل نمایید.

جدول ۴- مقادیر ضریب اصطکاک بر حسب رینولدز

ردیف	Δh_f (mm)	V(m/s)	$V^2/2g$ (mm)	Re	f
۱					
۲					
۳					
۴					
۵					
۶					
۷					
۸					

به کمک جدول (۴) نمودار تغییرات افت انرژی طولی Δh_f (mm) بر حسب انرژی جنبشی $V^2/2g$ (mm) را ترسیم کنید.

نمودار تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز (شاخه‌ای از دیاگرام مودی) را در نمودار زیر رسم نمایید و با نمودار رسم شده مربوط به لوله‌های صاف (Smooth) که از رابطه بلازیوس به دست آمده مقایسه و بحث کنید.



نشان ۵- تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز

ب- افت انرژی جزئی 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 رسم شده در قسمت ۲- الف (نمودار تغییرات افت انرژی طولی Δh_f (mm) بر حسب انرژی جنبشی $V^2/2g$ (mm)، مقدار افت انرژی طولی متناسب با این انرژی جنبشی را در مدار آبی روشن به دست آورده و در جدول (۵) یادداشت نمایید. سپس به کمک معادله (۳) و (۴) این جدول را کامل نمایید. مقادیر x در شکل (۱) نشان داده شده است.

جدول ۵- محاسبات انبساط و انقباض ناگهانی

ردیف	$V^2/2g$ (mm)	Δh_f (mm)	انبساط ناگهانی $x/L=$			انقباض ناگهانی $x/L=$		
			$\Delta h'$ (mm)	$\Delta h_f (x/L)$ (mm)	Δh_l (mm)	$\Delta h'$ (mm)	$\Delta h_f (x/L)$ (mm)	Δh_l (mm)
۱								
۲								
۳								
۴								
۵								
۶								
۷								
۸								
			K=			K=		

تغییرات افت انرژی انبساط و انقباض ناگهانی لوله $\Delta h_i(\text{mm})$ را بر حسب انرژی جنبشی سیال جاری $V^2/2g (\text{mm})$ 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.

ج- **افت انرژی جزئی برای زانویی‌ها:** به کمک جدول (۲) مقادیر انرژی جنبشی، افت انرژی طولی (Δh_f) و افت‌های زانویی راست‌گوشه و استاندارد $(\Delta h')$ را وارد جدول (۶) نمایید. همچنین به کمک جدول (۳) و نمودار رسم شده در قسمت ۲- الف (نمودار تغییرات افت انرژی طولی $\Delta h_f (\text{mm})$ بر حسب انرژی جنبشی $V^2/2g (\text{mm})$)، مقدار افت انرژی طولی متناسب با این انرژی جنبشی را در مدار آبی روشن به دست آورده و افت خم‌ها $(\Delta h')$ را نیز وارد جدول (۶) کنید.

حال به کمک رابطه (۶) افت جزئی هر قسمت را در هر مرحله محاسبه و جدول (۶) را کامل نمایید. لازم به ذکر است که فواصل پیرومتری‌های ورودی و خروجی هر زانویی یا خم ۹۱۴ میلی‌متر می‌باشد. لذا افت طولی آن (Δh_f) برابر با افت طولی لوله مستقیم به طول ۹۱۴ میلی‌متر است.

جدول ۶- محاسبات افت در زانویی‌ها و خم‌ها

ردیف	مدار آبی تیره						مدار آبی روشن Smooth Bends							
	$V^2/2g$	Δh_f	Mitre		Elbow		$V^2/2g$	Δh_f	R/d = 3.71		R/d = 7.42		R/d = 11.1	
			$\Delta h'$	Δh_b	$\Delta h'$	Δh_b			$\Delta h'$	Δh_b	$\Delta h'$	Δh_b	$\Delta h'$	Δh_b
۱														
۲														
۳														
۴														
۵														
۶														
۷														
۸														
			K=		K=				K=		K=		K=	

به کمک جدول (۶) تغییرات افت انرژی جزئی زانویی و خم $\Delta h_b(\text{mm})$ را بر حسب انرژی جنبشی $V^2/2g (\text{mm})$ رسم کنید و سپس به کمک این نمودار مقادیر ضریب افت متوسط هر قسمت را به دست آورده و در زیر جدول (۶) یادداشت کنید.

برای خم‌ها، تغییرات ضریب افت (K) را بر حسب r/d رسم و با نمودار تجربی شکل (۲) مقایسه کنید.

د- افت انرژی مو ضعی در شیرها: به کمک جداول (۲) و (۳) و رابطه (۸) جدول زیر را تکمیل نمایید، سپس تغییرات

ضریب افت (K) را بر حسب نسبت سرعت به سرعت حداکثر (V/V_{max}) ترسیم و بحث نمایید.

جدول ۷- محاسبات ضریب افت در شیرها

ردیف	Gate Valve					Globe Valve				
	V (m/s)	$V^2/2g$ (mm)	ΔH (mm)	V/V_{max} (%)	K	V (m/s)	$V^2/2g$ (mm)	ΔH (mm)	V/V_{max} (%)	K
۱										
۲										
۳										
۴										
۵										
۶										
۷										
۸										

آزمایش پمپ‌های سری و موازی (Series and Parallel Pumps)

هدف آزمایش

هدف از این آزمایش به‌دست آوردن منحنی مشخصه و تعیین راندمان یک پمپ و به‌کار بستن سری و موازی پمپ‌ها و مقایسه آن‌ها با یکدیگر است.

تئوری آزمایش

پمپ‌ها یکی از متداول‌ترین انواع توربوماشین‌های مصرف‌کننده قدرت می‌باشند، که در اکثر سیستم‌های تاسیساتی، آب‌رسانی، هیدرولیکی و ... به کار می‌روند و باعث افزایش انرژی مایعات می‌گردند.

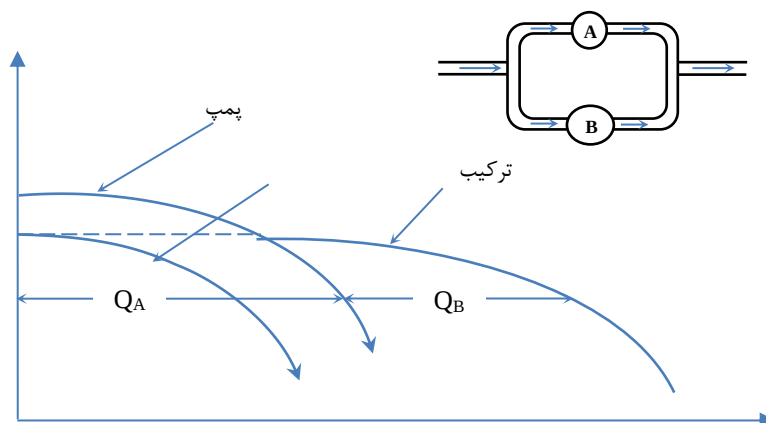
هنگامی که یک پمپ به تنهایی نتواند دبی یا ارتفاع مورد نیاز ایستگاه را تامین کند از دو یا تعداد بیش‌تری پمپ در مدار استفاده می‌شود. اتصال پمپ‌ها به یکدیگر و یا نحوه قرارگیری آن‌ها در مدار، به‌طور کلی در دو حالت موازی و سری صورت می‌گیرد.

پمپ‌های موازی: در این حالت، دبی کل ایستگاه از طریق چند پمپ که به‌صورت موازی به یکدیگر بسته شده‌اند عبور می‌کند. نحوه عملکرد این پمپ‌ها شبیه مدارهای الکتریکی در حالت موازی است. در حالت موازی دبی کلی ایستگاه از جمع دبی‌های عبوری از هر پمپ به‌دست می‌آید و ارتفاع تولیدی تمامی آن‌ها نیز با یکدیگر مساوی است. به‌هم پیوستن پمپ‌ها به صورت موازی بر نقطه کارکرد هر پمپ اثر می‌گذارد. برای به‌دست آوردن منحنی مشخصه مجموعه، باید دبی‌های هر یک از پمپ‌ها را در ارتفاع ثابت با یکدیگر جمع و نقاط حاصل را به هم وصل کرد.

در حالت موازی ارتفاع کل را می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد:

$$H_{tot} = \left[\frac{(P_{d2} - P_{s2})}{\rho g} + \frac{(P_{d1} - P_{s1})}{\rho g} \right] / 2 \quad \text{معادله (۱)}$$

فشار استاتیکی در خروجی و ورودی پمپ‌ها به ترتیب P_d و P_s می‌باشند.



شکل ۱- منحنی عملکرد دو پمپ به صورت موازی

با توجه به شکل (۱) هنگامی که پمپ (A) و (B)، هر یک به تنهایی در مدار قرار گیرند دبی تولیدی توسط آن‌ها به ترتیب Q_A و Q_B خواهد بود اما در صورتی که به صورت موازی در مدار باشند دبی تولیدی آن‌ها برابر با مجموع دبی Q_A و Q_B می‌باشد. موازی بستن دو یا تعداد بیش‌تری پمپ در یک مدار، هنگامی صورت می‌گیرد که در ازاء دبی مورد احتیاج، اندازه پمپ انتخابی بزرگ شود که در این صورت با تقسیم دبی بین دو یا چند پمپ می‌توان در یک ارتفاع ثابت، پمپ‌هایی با اندازه کوچک‌تر انتخاب نمود. با افزایش تعداد پمپ‌ها کارایی دستگاه بهتر می‌شود.

در بستن پمپ‌ها به صورت موازی باید به نکات زیر توجه کرد:

۱- از پمپ‌های یکسان استفاده شود، در صورت استفاده از پمپ‌های غیر یکسان باید از شیر یک طرفه در مسیر بعد از هر پمپ استفاده گردد.

۲- مقاومت دینامیکی مدار حتی‌الامکان کم باشد زیرا همان‌گونه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود هرچه شیب منحنی مشخصه مدار بیشتر باشد دبی تولیدی مجموعه پمپ‌ها کاهش یافته و در این صورت موازی بستن پمپ‌ها تاثیر چندانی نخواهد داشت.

۳- همان‌طور که گفته شد، دبی تولیدی هر یک از پمپ‌ها در حالت موازی، کمتر از دبی تولیدی پمپ‌ها در حالتی است که به تنهایی در مدار قرار گیرند. بنابراین وقتی یکی از پمپ‌ها از کار بیفتد، دبی تولیدی پمپ‌ها افزایش پیدا می‌کند.

پمپ‌های سری: به هم پیوستن پمپ‌ها به صورت سری در یک مدار برای بالا بردن فشار تولیدی در ازاء یک دبی معین صورت می‌گیرد در این حالت، دبی کلی ایستگاه از پمپ‌های متعدد که به صورت سری قرار گرفته‌اند گذشته و فشار آن در هر مرحله افزایش می‌یابد. در این حالت نحوه عملکرد پمپ‌ها همانند مدارهای الکتریکی در حالت سری است برای ترسیم منحنی مشخصه مجموعه پمپ‌ها در حالت سری، باید به ازای یک دبی معین ارتفاع‌های متناظر را با یکدیگر جمع و نقاط به دست آمده را به هم متصل نمود. در شکل (۲) یک نمونه از منحنی مشخصه پمپ‌ها در حالت سری آمده است محل تلاقی منحنی مشخصه مدار با منحنی به دست آمده، نقطه کارکرد پمپ را تعیین می‌کند.

در بستن پمپ‌ها به صورت سری باید به نکات زیر توجه کرد:

۱- سیال به هنگام ورود به دومین پمپ، دارای فشار بیش‌تری است به همین دلیل فشار در پوسته و محفظه آب‌بندی این پمپ بیش‌تر می‌باشد از این رو پمپ نیاز به آب‌بندی مناسب‌تری دارد. همچنین فشار داخل آن نیز نباید از فشار آزمایش پوسته پمپ بالاتر رود.

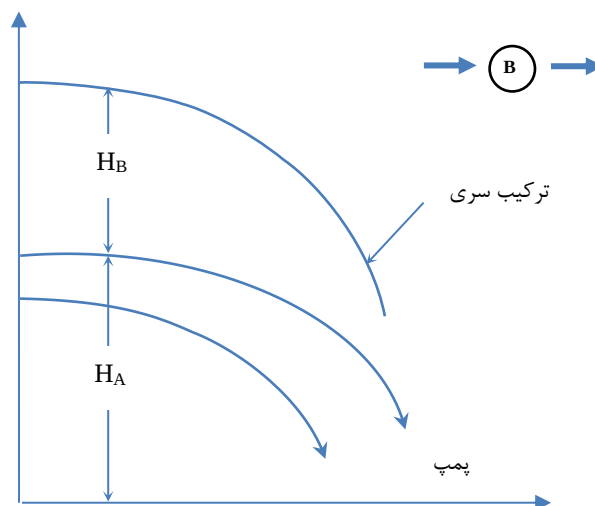
۲- بهتر است در سری بستن از پمپ‌های یکسان استفاده شود.

در حالت سری ارتفاع کل را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد.

$$H_{tot} = \left[\frac{(P_{d2} - P_{s2})}{\rho g} + \frac{(P_{d1} - P_{s1})}{\rho g} \right] \quad \text{معادله (۲)}$$

بنابراین:

$$H_{tot} = \frac{(P_{d2} - P_{s1})}{\rho g} \quad \text{معادله (۳)}$$



شکل ۲- منحنی عملکرد دو پمپ به صورت سری

توان خروجی مفید برای هر پمپ برابر است با:

$$P_{out} = \rho g Q H \quad \text{معادله (۴)}$$

توان مصرفی پمپ برابر توان الکتریکی گرفته شده از شبکه برقی شهری است:

$$P_{in} = V I \quad \text{معادله (۵)}$$

بنابراین راندمان به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\eta = P_{out} / P_{in} \quad \text{معادله (۶)}$$

بنابراین با توجه به رابطه (۶) راندمان در حالت موازی برابر است با:

$$\eta = \frac{Q}{\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2}}$$

معادله (۷)

و راندمان در حالت سری برابر است با:

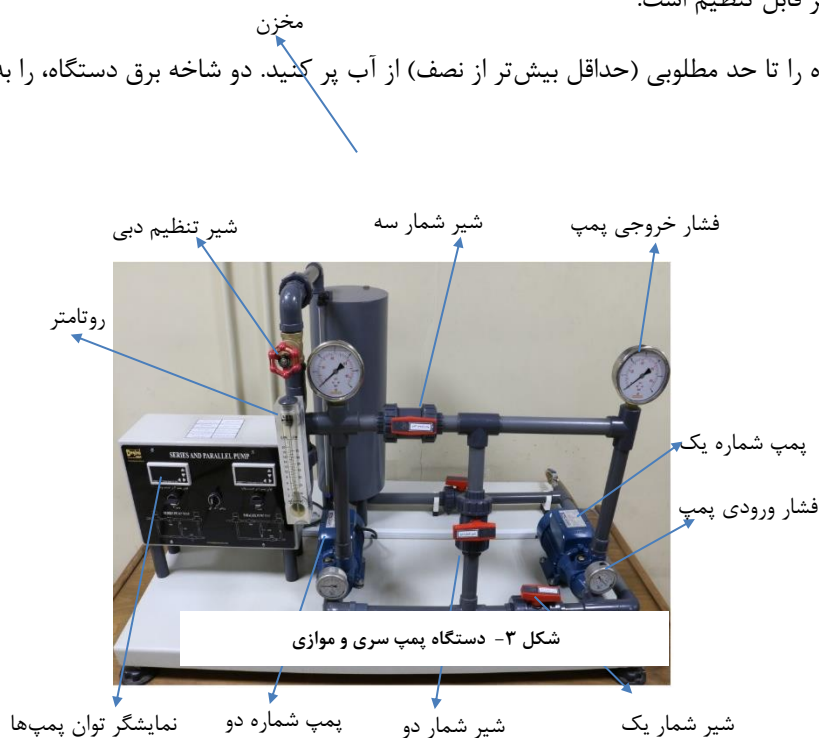
$$\eta = \frac{H}{\frac{H_1}{\eta_1} + \frac{H_2}{\eta_2}}$$

معادله (۸)

شرح دستگاه و روش انجام آزمایش

دستگاه مورد آزمایش از یک میز هیدرولیک، که بر روی آن دو پمپ قرار دارد، تشکیل شده است. مدار لوله‌کشی پمپ‌ها به صورتی است که می‌توان توسط بستن شیرهای مربوطه هر دو پمپ را به صورت جداگانه، سری و موازی راه اندازی نمود. در این دستگاه، برای کنترل جریان از چهار شیر استفاده شده است. در حالتی که تنها پمپ شماره یک مورد آزمایش قرار گیرد باید شیر شماره سه باز و شیر شماره یک و دو بسته باشند. در حالتی که تنها پمپ شماره دو مورد آزمایش قرار گیرد باید شیر شماره یک باز و شیر شماره دو و سه بسته باشند. در حالت موازی باید، شیرهای شماره یک و سه باز و شیر شماره دو بسته باشند. در حالت سری باید، شیرهای شماره دو باز و شیر شماره یک و سه بسته باشند. لازم به ذکر است توان مصرفی هر یک از پمپ‌ها توسط نمایشگر مربوطه نمایش داده می‌شود. مقدار دبی آب توسط روتامتر بر حسب Lit/min و GPM قابل اندازه‌گیری است و مقدار دبی آن نیز به کمک شیر فلکه‌ای موجود در انتهای مسیر قابل تنظیم است.

ابتدا مخزن آب دستگاه را تا حد مطلوبی (حداقل بیش‌تر از نصف) از آب پر کنید. دو شاخه برق دستگاه، را به برق بزنید.



شیر ورود آب از مخزن به سیستم را به اندازه دلخواه باز کنید. دستگاه به وسیله کلید اصلی نصب شده روی تابلو برق روشن می شود. در این هنگام نمایشگرهای دیجیتال (نمایشگر توان پمپ) روشن خواهند شد. به کمک کلید مربوط به هر پمپ می توان پمپ دلخواه را روشن کرد و مقدار توان ورودی را به دست آورد.

این آزمایش برای ۴ حالت مختلف (پمپ ۱ روشن و پمپ ۲ خاموش، پمپ ۱ خاموش و پمپ ۲ روشن، پمپ ۱ و ۲ به صورت سری، پمپ ۱ و ۲ به صورت موازی) با بستن و باز کردن شیرهای شماره ۱، ۲ و ۳ انجام می گردد. هر ۴ حالت را برای چندین دبی مختلف تکرار نمایید، با استفاده از شیر فلکه ای دبی را تنظیم و توسط روتامتر آن را اندازه گیری کنید و سپس دبی، فشار ورودی و خروجی هر پمپ و توان آن ها را یادداشت نمایید.

محاسبات و نتایج

۱. جداول ۱، ۲، ۳ و ۴ را کامل کنید.

جدول ۱- پمپ یک روشن و پمپ دو خاموش

بازده پمپ	توان مفید (W)	توان مصرفی (W)	هد (m)	فشار خروجی (bar)	فشار ورودی (bar)	دبی (GPM)	ردیف
							۱
							۲
							۳
							۴
							۵
							۶

جدول ۲- پمپ دو روشن و پمپ یک خاموش

بازده پمپ	توان مفید (W)	توان مصرفی (W)	هد (m)	فشار خروجی (bar)	فشار ورودی (bar)	دبی (GPM)	ردیف
							۱
							۲
							۳
							۴
							۵
							۶

جدول ۳- پمپ یک و دو موازی

ردیف	دبی (GPM)	پمپ شماره یک			پمپ شماره دو			هد کل (m)	بازده کل
		فشار ورودی (bar)	فشار خروجی (bar)	توان مصرفی (W)	فشار ورودی (bar)	فشار خروجی (bar)	توان مصرفی (W)		
۱									
۲									
۳									
۴									
۵									
۶									

جدول ۴- پمپ یک و دو سری

ردیف	دبی (GPM)	پمپ شماره یک			پمپ شماره دو			هد کل (m)	بازده کل
		فشار ورودی (bar)	فشار خروجی (bar)	توان مصرفی (W)	فشار ورودی (bar)	فشار خروجی (bar)	توان مصرفی (W)		
۱									
۲									
۳									
۴									
۵									
۶									

۲. منحنی توان مصرفی، هد و راندمان بر حسب دبی را در حالت‌های مختلف رسم و بحث کنید.

۳. رابطه راندمان در حالت‌های موازی و سری را اثبات نمایید.

۴. برای انتخاب پمپ‌ها باید به چه مواردی توجه کرد؟

۵. درباره NPSH در پمپ‌ها تحقیق نمایید.

آزمایش توربین پلتون (Pelton Turbine)

هدف آزمایش

هدف از این آزمایش آشنایی با ساختمان و طرز کار توربین پلتون، محاسبه راندمان و رسم منحنی‌های مشخصه آن می‌باشد.

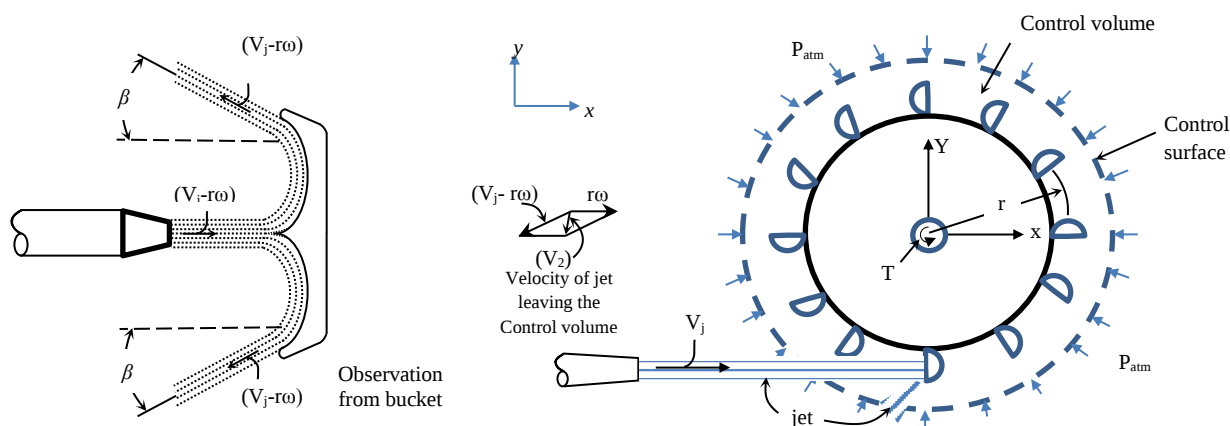
تئوری آزمایش

در اثر برخورد جت آب با پره و تغییر جهت آن، مقدار حرکت (مومنتوم) جت آب تغییر می‌یابد. طبق تئوری تغییر مقدار حرکت نسبت به زمان برابر با نیروی موثر بر پره می‌باشد.

اگر V_j سرعت مطلق جت آب هنگام خروج از نازل باشد هنگام برخورد با پره‌های چرخ پلتون این سرعت به دو مولفه، سرعت ذرات آب نسبت به پره‌های چرخ (v_1) و سرعت جانبی پره‌ها ($r\omega$) تجزیه می‌گردد. ω سرعت زاویه‌ای و r شعاع چرخ پلتون می‌باشد. 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:

$$v_1 = V_j - r\omega \quad \text{معادله (۱)}$$



شکل ۱- نحوه برخورد جت آب به چرخ پلتون

اگر از اثر نیروی ثقل و اصطکاک صرف‌نظر شود، اندازه سرعت نسبی بدون تغییر می‌ماند یعنی سرعت نسبی خروجی از چرخ پلتون (v_2) برابر با (v_1) می‌باشد. در این حالت سرعت مطلق سیال خروجی از چرخ پلتون (V_2) برابر با جمع برداری $r\omega$ و $V_j - r\omega$ می‌باشد.

با نوشتن معادله مقدار حرکت برای حجم کنترلی که یکی از پره‌ها را شامل شود می‌توان نیروی موثر بر پره را به دست آورد. با صرف نظر کردن از اصطکاک و نیروی جرمی ثقل مقدار این نیرو از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$F = \rho Q (V_j - r\omega)(1 + \cos \beta) \quad \text{معادله (۲)}$$

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

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

توان ناشی از این لنگر بر چرخ پلتون از رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$\text{Power} = T\omega = r \rho Q \omega (V_j - r\omega)(1 + \cos \beta) \quad \text{رابطه (۴)}$$

البته این مقدار توان را می‌توان از طریق دیگری نیز محاسبه نمود. اگر مقدار انرژی که هر واحد وزن آب، هنگام عبور از چرخ پلتون از دست می‌دهد برابر با H_T باشد، طبق رابطه برنولی توانی را که آب از دست می‌دهد می‌توان از رابطه (۵) به دست آورد.

$$WHP = \text{Power} = \gamma Q H_T \quad \text{رابطه (۵)}$$

عملاً می‌توان با 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 ω باشد توان گرفته شده از آن برابر است با:

$$BHP = \text{Brake Horse Power} = T\omega \quad \text{رابطه (۶)}$$

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

$$\eta_T = \frac{BHP}{WHP} = \frac{T\omega}{\gamma Q H_T} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در طراحی و محاسبه یک ماشین علاوه بر استفاده از مطالب تئوری می‌بایست 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 می‌شود 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 باشد، در چنین شرایطی بین خطوط جریان در دو دستگاه نیز تشابه وجود دارد. با توجه به دو

شرط فوق می‌توان گفت بین دو ماشین آبی تشابه دینامیکی موجود است. اگر اثرات ویسکوزیته سیال در مدل و دستگاه یکسان باشد (در این حال عدد رینولدز در دو دستگاه مساوی است) می‌توان گفت که بین مدل و دستگاه تشابه کامل وجود دارد. نابرابری عدد رینولدز در مدل و دستگاه اصلی در مقدار راندمان تاثیر می‌گذارد (به خاطر تاثیر مقیاس) که در تئوری مربوط به تشابه دینامیکی از آن صرف‌نظر می‌شود. لذا می‌توان راندمان در توربین‌های مشابه دینامیکی را با یکدیگر برابر دانست. پراهمیت‌ترین معادلات در توربین‌های مشابه دینامیکی به صورت رابطه گروه‌های بدون بعد از قضیه پی‌باکینگهام (معادله ۸) بیان می‌شود.

$$\frac{Q}{n D^3} = cte$$

$$\frac{H}{n^2 D^2} = cte \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$\frac{P}{\gamma n^3 D^2} = cte$$

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

$$N_s = \frac{\omega \sqrt{P}}{\rho^{1/2} (gH)^{5/4}} \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در آن P توان تولیدی توربین است. جهت اطلاعات بیش‌تر به کتاب مکانیک سیالات شیمز فصل ۱۴ و فاکس فصل ۱۰ مراجعه نمایید.

شرح دستگاه و روش انجام آزمایش

توربین پلتون از نوع توربین‌های بدون عکس‌العمل است زیرا فاقد لوله مکش بوده و تحت فشار اتمسفریک عمل می‌کند. 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 در اثر برخورد با پره‌هایی متصل به اطراف یک چرخ، آن‌را به گردش درمی‌آورد. باتوجه به این‌که هر چه انرژی پتانسیل آب بیش‌تر باشد. به انرژی جنبشی بیش‌تری تبدیل می‌شود و همچنین آب خروجی از توربین هیچ‌گونه عکس‌العملی بر روی آن ندارد. لذا در عمل بهتر است که توربین پلتون در پایین‌ترین سطح ممکن نسبت به سطح هرز آب قرار گیرد. لازم به‌ذکر است 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 می‌دهد برای اندازه‌گیری لنگر گرفته شده از محور توربین از یک سیستم ترمز پرونی استفاده می‌گردد. با تعیین نیروی این ترمز مقدار لنگر تعیین شده ($T=F.L$) و سپس با اندازه‌گیری دور محور می‌توان توان گرفته شده را به دست آورد. با اندازه‌گیری دبی و هد آب نیز می‌توان توان آب را تعیین و سپس راندمان توربین را محاسبه کرد تغییر سرعت جت آب توسط یک سوزن مخروطی در داخل نازل انجام می‌گیرد.

برای شروع آزمایش در ابتدا می‌بایست صفر دبی آب و صفر نیروسنج تنظیم گردد. شیر کنترل دبی در حالت بسته و درجه افشانک را روی مقدار ۰/۵ قرار دهید. پمپ را روشن کرده و به وسیله تنظیم دور پمپ و شیر کنترل جریان ارتفاع آب را در مقدار ۱۲ متر ثابت نگه دارید. سپس با بستن تدریجی ترمز پرونی مقدار دبی، دور و نیروی ترمزی را یادداشت نمایید. اندازه‌گیری دور توسط تاکومتر یا هر دورسنج دیگری انجام می‌شود. عمل بستن ترمز حداقل در ۱۰ مرحله از دور ماکزیمم تا دور صفر انجام گیرد.

این آزمایش را برای درجه بازشدگی‌های ۰/۷ و ۰/۹ در ارتفاع ثابت ۱۲ متر نیز تکرار نمایید. سپس تمام شیرها را بسته و پمپ را خاموش کنید.



شکل ۱- دستگاه توربین پلتون

محاسبات و نتایج

۱. جدول (۱) را کامل کنید.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به آزمایش توربین پلتون

h=12 m		L= 7.5 cm		بازشدگی=۰/۵		Q (m ³ /min)=
ردیف	n(rpm)	F(N)	WHP	T	BHP	η_T
۱						
۲						
۳						
۴						
۵						
۶						
۷						
۸						
۹						
۱۰						

h=12 m		L= 7.5 cm		بازشدگی=۰/۷		Q (m ³ /min)=
ردیف	n(rpm)	F(N)	WHP	T	BHP	η_T
۱						
۲						
۳						
۴						
۵						
۶						
۷						
۸						
۹						
۱۰						

h=12 m		L= 7.5 cm		بازشدگی=۰/۹		Q (m ³ /min)=
ردیف	n(rpm)	F(N)	WHP	T	BHP	η_T
۱						
۲						
۳						
۴						
۵						
۶						
۷						
۸						
۹						
۱۰						

۲. با توجه به جدول (۱)، توان ورودی برحسب دور توربین را در ارتفاع ثابت و سه بازشدگی مختلف افشانک بر روی یک

نمودار رسم کنید.

۳. توان خروجی برحسب دور را در یک نمودار برای سه حالت مختلف رسم و بحث کنید.
۴. راندمان برحسب دور را در یک نمودار برای سه حالت مختلف رسم و بحث کنید.
۵. سرعت مخصوص توربین پلتون را در ماکزیمم بازده در هر مرحله محاسبه کنید.
۶. رابطه بین سرعت جت و Ω را در حالتی که توان ماکزیمم است محاسبه کنید.
۷. حرکت سوزن افشانک در یک توربین بزرگ با دست امکان پذیر نیست. یک مدار شماتیک جهت کنترل سوزن با بار گرفته شده از چرخ رسم نمایید و توضیح دهید.

پیوست یک (میز هیدرولیک)

برای اندازه‌گیری دبی حجمی عملی (واقعی) جریان، در آزمایش‌های ونتوری‌متر، وسایل اندازه‌گیری دبی، ضربه جت، اوریفیس، افت موضعی و ... از میز هیدرولیک استفاده می‌شود.

روش اندازه‌گیری دبی جرمی به وسیله میز هیدرولیک در شکل (۱) نشان داده شده است.

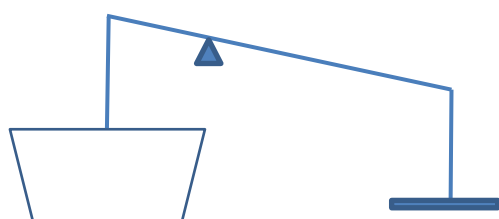
شکل (الف): مخزن خالی است و به دلیل وزن اهرم و کفه، اهرم مقداری انحراف از حالت تعادل دارد.

شکل (ب): با ورود آب به مخزن این انحراف جبران می‌شود و اهرم به تعادل اولیه می‌رسد.

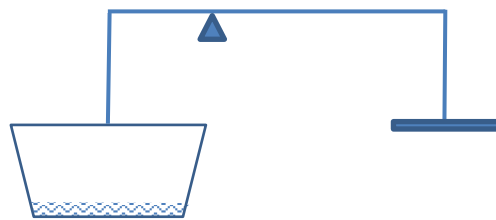
شکل (ج): با قرار دادن وزنه دوباره اهرم از وضعیت تعادل خارج شده و برای رسیدن به تعادل باید سه برابر جرم وزنه (m)، آب در داخل مخزن جمع گردد.

شکل (د): در این حالت دوباره بین وزنه و مقدار آب جمع شده در مخزن، تعادل ثانویه برقرار می‌گردد.

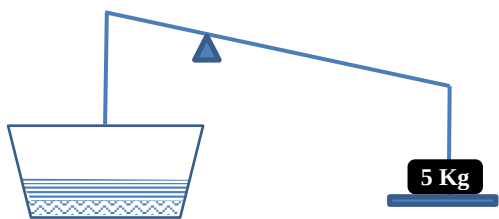
فاصله زمانی اندازه‌گیری شده (t)، زمان سپری شده بین تعادل اولیه و ثانویه است.



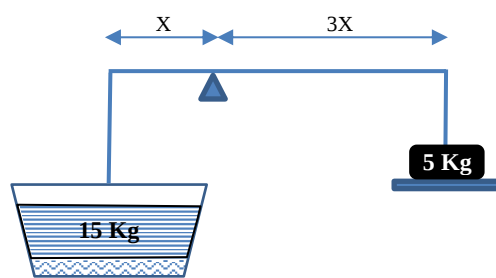
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۱- شماتیک کارکرد میز هیدرولیک

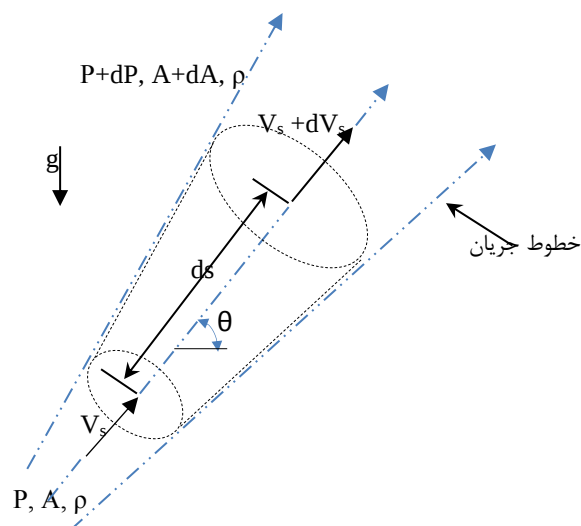
حال با داشتن فاصله زمانی بین تعادل‌ها (t)، می‌توان مقدار دبی حجمی را طبق رابطه زیر به دست آورد.

$$Q = \frac{3 \times m}{\rho t}$$

معادله (۱)

پیوست دو (اثبات معادله برنولی)

شکل (۱) یک لوله با مساحت متغیر $A(s)$ و طول ds را نشان می‌دهد. خواص سیال ممکن است براساس s و زمان t تغییر کند، اما در مقطع عرضی A یکنواخت فرض می‌شود.



شکل ۱- حجم کنترل دیفرانسیلی برای تحلیل تکانه جریان عبوری از لوله

معادله پایستگی جرم برای حجم کنترل در شکل (۱) به صورت زیر است:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\int_{C.V} \rho \, dV \right) + \int_{C.S} \rho \, \vec{V} \cdot \vec{dA} = 0 \quad \text{معادله (۱)}$$

جمله اول بیانگر آهنگ تغییر جرم داخل حجم کنترل و جمله دوم بیانگر آهنگ شار خالص جرم خروجی از سطح کنترل است. معادله بالا نشان می‌دهد که آهنگ تغییر جرم در حجم کنترل به علاوه جریان خالص خروجی برابر با صفر است. معادله پایستگی جرم را معادله پیوستگی نیز می‌نامند به عبارت دیگر:

شار خالص جرم ورودی = آهنگ افزایش جرم در CV

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\int_{C.V} \rho \, dV \right) = - \int_{C.S} \rho \, \vec{V} \cdot \vec{dA} \quad \text{معادله (۲)}$$

اگر فرض کنیم جریان پایا و سیال تراکم‌ناپذیر باشد و هیچ جریانی از خطوط جریان مرزی عبور نکند معادله (۱) برای شکل (۱) به صورت زیر ساده می‌شود:

$$(-\rho V_s A) + \{\rho (V_s + dV_s)(A + dA)\} = 0 \quad \text{معادله (۳)}$$

$$V_s dA + A dV_s + dA dV_s = 0$$

ولی $dV_s dA$ حاصلضرب دیفرانسیل هاست که با صرف نظر کردن از آن در مقایسه با $V_s dA$ و $dV_s A$ داریم:

$$V_s dA + A dV_s = 0 \quad \text{معادله (۴)}$$

اکنون رابطه تکانه خطی را در امتداد خط جریان می نویسیم:

$$\sum \vec{F}_S + \vec{F}_B = \frac{\partial}{\partial t} \left(\int_{C.V} \vec{V} \rho dV \right) + \int_{C.S} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad \text{معادله (۵)}$$

این معادله بیان می کند که مجموع تمام نیروهای (سطحی و حجمی) وارد بر یک حجم کنترلی که شتاب آن صفر است برابر است با مجموع آهنگ تغییر تکانه داخل حجم کنترل و آهنگ خالص شار تکانه ی خروجی از سطح کنترل.

معادله بالا با فرض پایا بودن جریان به شکل زیر در می آید:

$$\sum \vec{F}_S + \vec{F}_B = \int_{C.S} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad \text{معادله (۶)}$$

با فرض این که جریان بدون اصطکاک است، نیروی های سطحی فقط شامل نیروهای فشاری می باشد که برابر است با:

$$\sum F_{S, pressure} = P A - (P + dP)(A + dA) + \left(P + \frac{dP}{2}\right) dA = -A dP - \frac{1}{2} dP dA \quad \text{معادله (۷)}$$

نیروهای حجمی نیز در راستای جریان برابر است با نیروی گرانشی که از وزن سیال داخل حجم کنترل ناشی می شود:

$$\sum F_{B, gravity} = \rho \vec{g} dV = \rho (-g \sin \theta) \left(A + \frac{dA}{2}\right) ds = -\rho g \left(A + \frac{dA}{2}\right) dz \quad \text{معادله (۸)}$$

و شار تکانه نیز برابر خواهد بود با:

$$\int_{C.S} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} = V_s (-\rho V_s A) + (V_s + dV_s) \{ \rho (V_s + dV_s)(A + dA) \} \quad \text{معادله (۹)}$$

که طبق رابطه پیوستگی (معادله (۳)) معادله بالا به شکل زیر ساده می گردد:

$$\int_{C.S} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} = \rho V_s A dV_s \quad \text{معادله (۱۰)}$$

بنابراین با جاگذاری معادلات (۷)، (۸) و (۱۰) در معادله تکانه (۶) داریم:

$$-A dP - \frac{1}{2} dP dA - \rho g A dz - \frac{1}{2} \rho g dA dz = \rho V_s A dV_s \quad \text{معادله (۱۱)}$$

با تقسیم معادله بالا بر ρA و با توجه به این که حاصلضرب دیفرانسیل‌ها در مقایسه با جمله‌های باقی‌مانده ناچیز هستند داریم:

$$\frac{dP}{\rho} + d\left(\frac{V_s^2}{2}\right) + g dz = 0 \quad \text{معادله (۱۲)}$$

با انتگرال‌گیری از رابطه (۱۲) داریم:

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z = H \quad \text{معادله (۱۳)}$$

H ثابت انتگرال‌گیری است.

از معادله (۱۲) برای دو نقطه واقع بر یک خط جریان نیز می‌توان انتگرال گرفت که ساده شده آن به شکل زیر است:

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) + g(z_2 - z_1) = 0 \quad \text{معادله (۱۴)}$$

$$\frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1$$

با فرض:

$$h = \frac{P}{\rho g} + z \quad \text{معادله (۱۵)}$$

بنابراین معادله برنولی برای دو نقطه از یک خط جریان به صورت زیر ساده می‌شود:

$$\frac{V_2^2}{2g} + h_2 = \frac{V_1^2}{2g} + h_1 \quad \text{معادله (۱۶)}$$

در معادلات بالا H (هد کل)، h (هد پیزومتری^۷) و $\frac{V^2}{2g}$ (هد جنبشی یا هد سرعت^۸) است. بنابراین معادله برنولی در واقع رابطه بین فشار، سرعت و ارتفاع است.

فرضیات لازم برای نوشتن معادله برنولی و چند نکته درباره‌ی آن

■ معادله برنولی برای سیال تراکم ناپذیر و غیرلزج و بر روی یک خط جریان می‌باشد.

^۷ Piezometric Head or Static Head

^۸ Velocity Head or Kinetic Head

- برای نوشتن معادله برنولی باید جریان حالت پایا داشته باشد.
 - معادله برنولی تنها در حالتی قابل استفاده است که نیروهای وارد بر سیال نیروی وزن و فشار باشند.
 - در ناحیه‌ای که کار یا انتقال حرارت در سیال صورت می‌گیرد قابل استفاده نیست.
 - ثابت معادله برنولی (هد کل) از یک خط جریان به خط جریان دیگر تغییر می‌کند ولی زمانی که جریان غیرچرخشی باشد این ثابت برای تمام خطوط جریان یکسان است و می‌توان معادله‌ی برنولی را بین هر دو نقطه دلخواه از جریان به کار برد.
 - اگر در معادله برنولی سرعت دو نقطه انتخاب شده مجهول باشند آن‌ها را می‌توان توسط معادله پیوستگی به هم ارتباط داد.
 - سرعت‌های استفاده شده در معادله برنولی سرعت متوسط می‌باشد.
- برای مطالعه‌ی بیشتر به کتاب مکانیک سیالات فاکس فصول صورت انتگرالی معادله‌های اصلی برای حجم کنترل و جریان تراکم‌ناپذیر ناویسکوز مراجعه نمایید.