



دانشگاه خلیج فارس بوشهر
دانشکده نفت، گاز و پتروشیمی

دستور کار

آزمایشگاه مکانیک سیالات و هیدرولیک

تهیه و تنظیم: سید ضیاء حمیدی

بهار ۱۴۰۱

آزمایش رینولدز	۳
آزمایش افت انرژی در لوله	۱۲
آزمایش ونتوری متر	۲۲
آزمایش سرریزها	۳۱
آزمایش جت آب	۳۷
آزمایش افت در اتصالات	۴۶
آزمایش مرکز فشار	۵۹

دانشگاه خلیج فارس بوشهر

آزمایش رینولدز

هدف آزمایش :

آزمایش رینولدز یکی از آزمایش های هیدرولیک می باشد. هدف از انجام این آزمایش بررسی نوع حرکت سیال و تعیین محدوده هر یک از نواحی حرکت سیال است. رینولدز عددی بی بعد در مکانیک سیالات است که الگوی جریان در حال حرکت را توصیف می کند. رینولدز اندک نشان دهنده جریان لایه ای و رینولدز بالا جریان متلاطم را نشان می دهد.



شکل (۱) : دستگاه رینولدز

تئوری آزمایش :

یکی از انواع تقسیم بندی جریان، حرکت لایه ها می باشد که بر اساس سه نوع جریان، قابل تفکیک است:

- جریان آرام (Laminar)
- جریان انتقالی (Transition)
- جریان آشفته (Turbulent)

در جریان آرام حرکت سیال در حرکت لایه ها خلاصه می شود. در این جریان هر لایه به نرمی روی لایه مجاور خود می لغزد. مبادله ممنتوم در سطوح لایه های مختلف توسط مولکول ها صورت می گیرد. در جریان آشفته حرکات بسیار نامنظم ذرات با تبادل شدید مومنوم در جهت عمود بر حرکت مشاهده می شود. در این جریان کار انتقال ممنتوم از لایه ای به لایه دیگر توسط توده ذرات صورت می گیرد و در واقع حرکت ذرات به حرکت مولکول ها اضافه می شود. حالت گذرا مرز بین این دو حالت است.



شکل (۲): انواع جریان در دستگاه رینولدز

تشخیص ماهیت جریان اولین بار توسط رینولدز انجام گرفت. او عددی به همین نام را برای تفکیک جریان ها از یکدیگر تعریف نمود. عدد رینولدز بنا به تعریف حاصل تقسیم دو نیرو است، نیروی اینرسی و نیروی لزجت.

$$\text{رینولدز} = \frac{\text{نیروهای اینرسی}}{\text{لزجت}}$$

بنابراین باید انتظار داشته باشیم وقتی نیروهای اینرسی بیشتر شود، تلاطم و بی نظمی در جریان بیشتر شده، جریان به سمت حالت آشفته پیش رود.

عدد رینولدز در یک لوله با قطر D که سیالی با سرعت متوسط V و ویسکوزیته دینامیکی μ و دانسیته ρ در آن جریان دارد، عبارتست از:

$$R_e = \frac{\rho V D}{\mu}$$

$$R_e = \frac{V D}{\nu}$$

رابطه ۱

نام و واحد پارامترهای بکاررفته در فرمول رینولدز :

ρ دانسیته (kg/m^3)

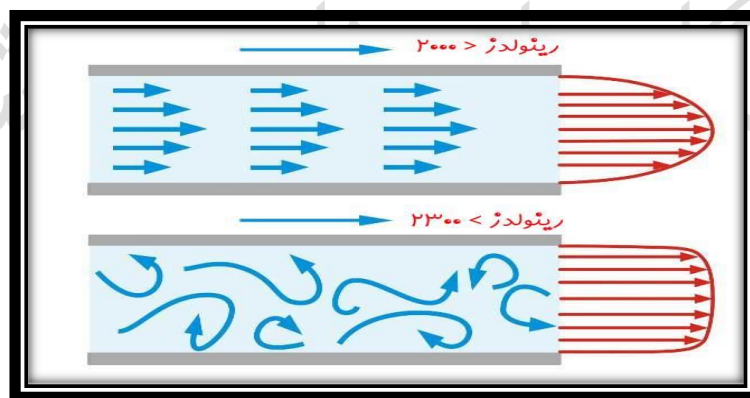
μ ویسکوزیته دینامیکی (kg/(m.s))

ν ویسکوزیته سینماتیکی (m^2/s)

V سرعت متوسط سیال m/s

D طول مشخصه

رینولدز بحرانی عددی است که در آن جریان سیال شروع به توربولانس شدن می‌کند. این مقدار در حالت‌های مختلف جریان، متفاوت است. به عنوان مثال برای جریانی که در لوله حرکت می‌کند، رینولدز بحرانی برابر با ۲۳۰۰ است؛ یا در حالتی که سیالی روی یک سطح تخت جریان دارد، مقدار رینولدز بحرانی بین 10^5 تا 10^6 است.



شکل (۳): الگوی حرکت جریان در مجرای عبور

پارامتر تعیین کننده در نوع رژیم جریان، محدوده عدد رینولدز است که به شکل مجرای عبور جریان بستگی دارد. به عنوان مثال محدوده جریان آرام

- داخل لوله $Re < 2100$
- جریان بین دو صفحه $Re < 1000$
- جریان در کانال باز $Re < 500$

شرح دستگاه :

دستگاه رینولدز طوری ساخته شده است که توسط آن می توان جریان مایع را در یک لوله بطور کامل مشاهده کرد و محاسبات لازم در تعیین نوع جریان را انجام داد.

دستگاه مطابق **شکل (۱)** از بخش های زیر تشکیل شده است:

یک مخزن مکعب مستطیل شیشه ای به ابعاد ($80 \times 40 \times 30$) سانتی متر که یک لوله شیشه ای دیگر با سطح مقطع دایره به قطر ($1/4$ سانتی متر) و طول (70 سانتی متر) در وسط آن قرار دارد . آب از طریق شیر ورودی که در پایین مخزن بزرگ تعبیه شده است وارد آن می شود و پس از ورود به لوله شیشه ای کوچکتر، از انتهای سطح جانبی مخزن بزرگ که به یک شیر کنترل خروجی وصل است خارج می گردد. قسمت خروجی آب در مرکز سطح جانبی مخزن بزرگ قرار دارد . یک لوله پلاستیکی سرم و ست مربوط به سرم (برای کنترل جوهر رنگی) ، به ظرفی از جوهر (دکانتور شیردار) متصل است. با تنظیم شیر کنترل خروجی دبی می توان سرعت سیال را تغییر داد و رفتار ماده رنگی را همراه با جریان سیال در سرعت های مختلف بررسی کرد.

روش انجام آزمایش :

- ۱- آب ورودی به سیستم را باز نمایید تا مخزن بزرگ پر شود .
- ۲- شیر کنترل خروجی را کمی باز میکنیم تا هوای محبوس شده در لوله شیشه ای کوچک خارج شود .
- ۳- از وجود ماده رنگی در مخزن آن مطمئن میشویم و با باز کردن شیر سرم مایع رنگی را وارد مخزن می کنیم.
- ۴- توسط تغییر دبی با شیر کنترل جریان جوهر را به صورت متمایز از آب در آورید. (به صورت ریسمانی در آب)
- ۵- توسط بشر و کرنومتر دبی آب را اندازه گیری می کنیم.
- ۶- در نقطه ای که جریان از حالت آرام به وضعیت انتقالی می رسد و همچنین در نقطه ای که از حالت انتقالی به حالت آشفته می رسد، دبی جریان را به دست می آوریم .
- ۷- اعمال فوق را این بار از حالت آشفته به انتقالی و آرام تکرار کنید و دبی جریان را به دست آورید.
- ۸- دمای آب مخزن را اندازه گیری کنید.

محاسبات :

در این آزمایش قطر لوله شیشه ای (۱/۴) سانتی متر می باشد. همچنین طبق رابطه پیوستگی داریم :

$$Q = A \times V \quad \text{رابطه ۲}$$

Q دبی حجمی جریان و A سطح مقطع لوله است. بنابراین هرگاه توسط یک کرومومتر و یک بشر مدرج ، دبی جریان را تعیین کنیم، خواهیم داشت :

$$Q = \frac{V(m^3)}{t(sec)} \quad \text{رابطه ۳}$$

با مشخص شدن دبی حجمی از رابطه ۳، می توان توسط رابطه ۲ سرعت جریان سیال (V) را تعیین نمود.

در جدول خواص فیزیکی آب، موجود در کتابهای مکانیک سیالات می توان مقادیر ρ (چگالی) و μ (ویسکوزیته دینامیکی) را در دماهای گوناگون آب بدست آورد .

و در نهایت با جایگزینی D ، V ، ρ و μ در رابطه رینولدز می توان مقدار Re را محاسبه نمود.

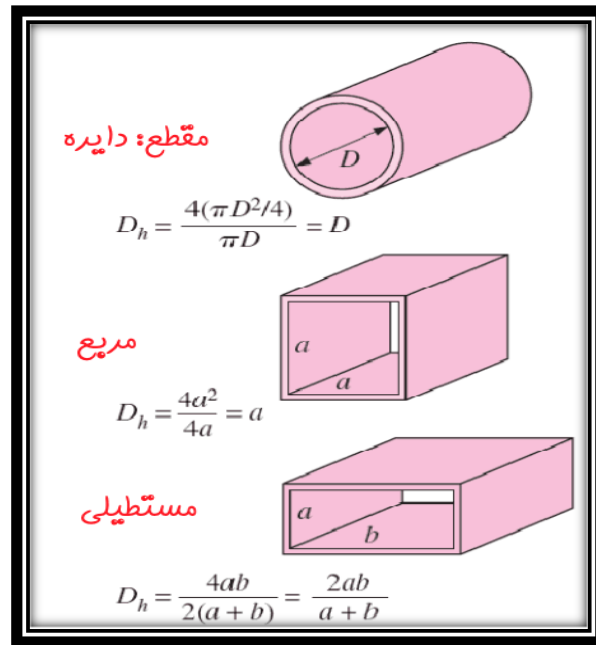
- **نکته :** در حالتی که جریانی در یک کانال بسته و یا در لوله حرکت می کند، عدد رینولدز وابسته به قطر هیدرولیکی لوله (D_H) و طول آن (L) است. در حالتی که لوله به صورت استوانه ای باشد، قطر هیدرولیکی آن در واقع همان قطر لوله است. بنابراین در این حالت عدد رینولدز به صورت زیر محاسبه می شود:

$$Re = \frac{F_{inertia}}{F_{viscous}} = \frac{\rho V D_H}{\mu} \quad \text{رابطه ۴}$$

در حالتی که مقطع لوله به صورت دایره ای نباشد، می توان با استفاده از رابطه زیر قطر هیدرولیکی لوله را محاسبه کرد:

$$D_H = \frac{4A}{P} \quad \text{رابطه ۵}$$

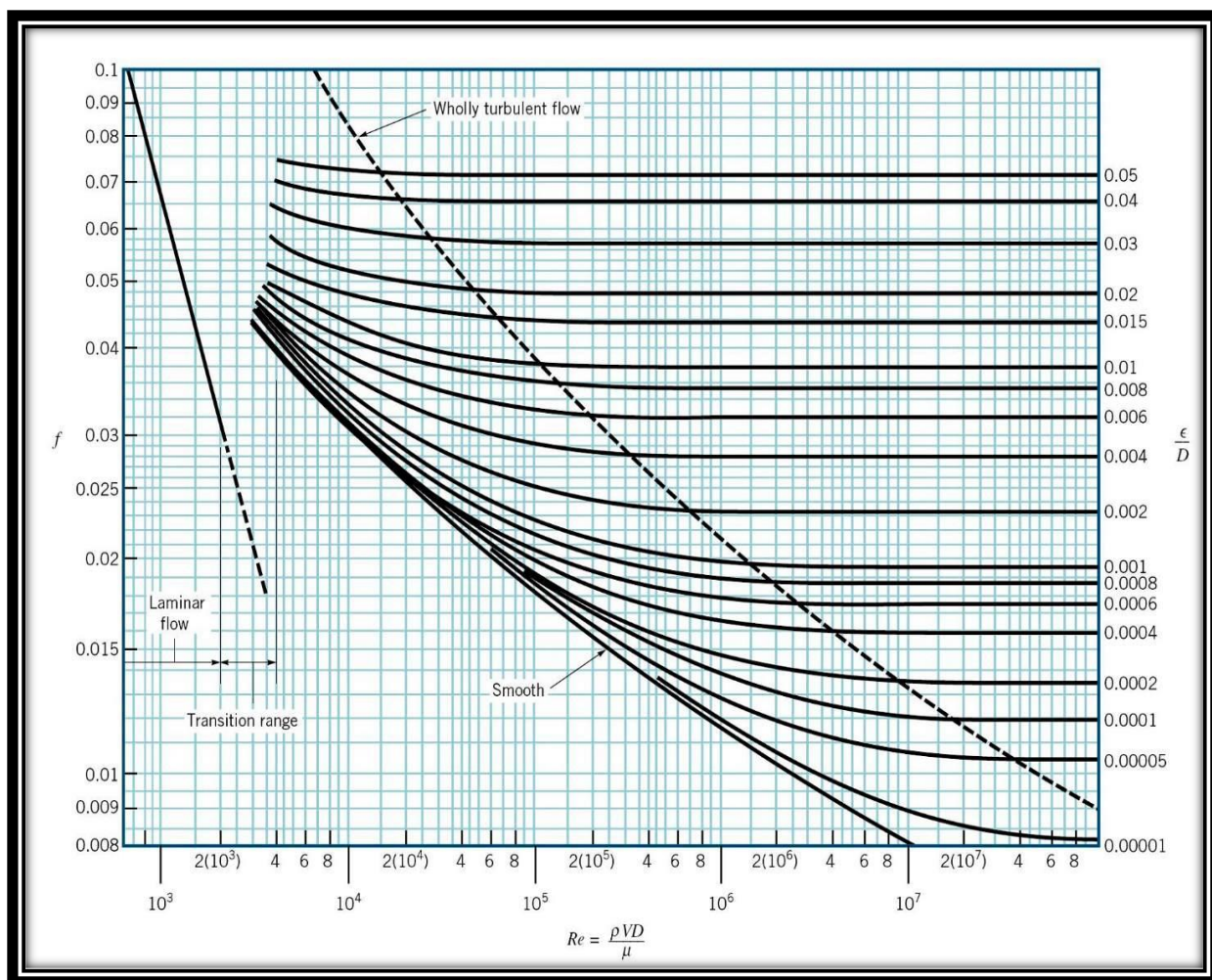
در معادله بالا A مساحت سطح مقطع لوله و P محیط تر شده است. در شکل های زیر قطر هیدرولیکی برای چند مقطع مختلف آورده شده اند :



شکل (۴): قطر هیدرولیکی چند مقطع مختلف

از دیگر عواملی که در آشفته شدن جریان درون لوله موثر است، میزان اصطکاک سطح لوله با جریان خواهد بود. نمودار مودی (Moody Chart)، شکل (۵)، میزان توربولانسی جریان را بر حسب عدد رینولدز و زبری سطح لوله نشان می‌دهد.

این نمودار روشی عملی به منظور محاسبه افت فشار جریان سیالی است که درون لوله حرکت می‌کند. اگر توجه داشته باشید در نمودار مودی ناحیه‌های متلاطم و لایه‌ای بر حسب ضریب اصطکاک و رینولدز جریان نشان داده شده‌اند:



شکل (۵) : (نمودار مودی)

کاربردهای عدد رینولدز در مسئله:

برای نمونه حرکت گلیسرین را در لوله‌ای با مقطع دایره‌ای در نظر بگیرید. با فرض این که خواص سیال را داشته باشیم، می‌توان رژیم آن را به شکل زیر تعیین کرد.

در اولین قدم بایستی خواص سیال مفروض را داشته باشیم. این پارامترها در ذیل نشان داده شده اند :

ماده = Glycerin

1259 = چگالی در ۲۳ درجه سلسیوس

0.950 = ویسکوزیته دینامیکی

0.05 = قطر کانال

0.5 = سرعت گلیسرین در ورودی

قدم بعدی، محاسبه رینولدز به شکل زیر است:

$$Re_{Glycerin} = \frac{\rho V D_H}{\mu} = \frac{1259 \times 0.5 \times 0.05}{0.950} \approx 33.1$$

عدد بدست آمده کمتر از ۲۳۰۰ است، از این رو می توان این جریان را به صورت لایه ای در نظر گرفت .

دانشگاه خلیج فارس بوشهر

جدول نتایج آزمایش:

	V (m ³)	T (s)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	μ (Kg/m.s)	T (o ^c)	Re
۱									
۲									
۳									
۴									

جدول ۱: نتایج آزمایش برای هر سه محدوده جریان آرام ، انتقالی و متلاطم

منابع خطای آزمایش :

خطاهای انسانی از قبیل نگه داشتن زمان کرنومتر و خواندن حجم آب جمع شده در بشر مدرج.

در هنگام آزمایش به دلیل حساسیت بالای جریان در عبور از ناحیه ی انتقالی (گذار) ، سر و صدا و تکان خوردن میز باعث ایجاد خطا میشود .

هنگام رفتن از ناحیه ی آرام به متلاطم و بالعکس ، تشخیص ناحیه ی انتقالی مشکل است .

خطاهای دستگاه از قبیل چکه کردن شیر و اتصالات .

مقدار زبری سطح لوله (اصطکاک) در نوع جریان تاثیر میگذارد.

دانشگاه خلیج فارس بوشهر

پرسش ها و محاسبات :

۱. بدست آوردن شدت جریان در تمامی مراحل .
۲. محاسبه سرعت های پایین ، بحرانی و بالا با استفاده از دبی های حجمی موجود .
۳. محاسبه عدد رینولدز در هر حالت (آرام ، گذرا و آشفته) و ثبت مشاهدات .
۴. رینولدز بحرانی را تعریف کنید و مقادیر رینولدز بحرانی را در این آزمایش به دست آورید.
۵. انجام آزمایش در دمای متفاوت (در صورت امکان)
۶. درارتباط با خطاهای آزمایش بحث کنید.
۷. آیا از روی نتایج جریان آرام میتوان ضریب لزجت μ را بدست آورد . توضیح دهید.

افت انرژی در یک لوله

(Energy drop in a pipe)

مقدمه :

سیال همیشه به دوصورت تحت فشار یا آزاد جریان می یابد. جریان سیال را زمانی آزاد گوئیم که از یک سو در تماس با فشار اتمسفر می باشد و از سایر جهات با جدار جامد تماس دارد. از سوئی جریان سیال را زمانی که از همه جهات در تماس با جدار جامد می باشد را تحت فشار گویند. مجاری آزاد معمولاً به صورت کانال های روباز و مجاری تحت فشار به صورت لوله های جدار بسته می باشند که در سیستم هایی همچون انتقال آب شهری مورد استفاده قرار می گیرند.

هدف آزمایش :

در این آزمایش ، **شکل (۱)**، هدف بدست آوردن پارامترهایی می باشد که در بوجود آمدن افت انرژی در یک لوله نقش مهمی دارند مولفه های مهمی نظیر زبری جدار داخلی لوله ، سرعت جریان ، عدد بدون بعد رینولدز و ضریب اصطکاک طولی و همچنین بدست آوردن افت هد عملی و تئوری و مشاهده تفاوت مقدار آنها و پی بردن به دلایل تفاوت در مقادیر بدست آمده عملی و تئوری .

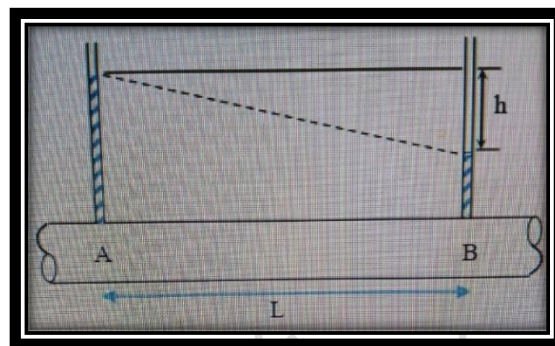


شکل (۱) : دستگاه افت انرژی در لوله مستقیم

تئوری آزمایش :

به انرژی های قابل استفاده ای که به صورت های دیگر انرژی تبدیل می شوند و نمی توان از آن ها استفاده کرد " افت انرژی " اطلاق می شود. به طور مثال، در یک جرم آب ممکن است انرژی قابل استفاده بر اثر اصطکاک به حرارت تبدیل شود، که چنین تبدیلی افت انرژی قلمداد می شود.

افت انرژی ، درون یک لوله مستقیم و افقی به صورت کاهش فشار ظاهر میشود. اگر جریان مایعی از لوله **شکل (۲)** عبور کند اختلاف ارتفاع (Δh) نشان دهنده افت انرژی اصطکاکی در لوله می باشد .



شکل (۲): شماتیکی از افت هد در یک طول مشخصه

با توجه به اینکه بعد افت فشار به ازای واحد وزن سیال از دیمانسیون 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 :

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

در بررسی جریان سیال داخل لوله میتوان نتیجه گرفت که در جریان آرام گرادیان هیدرولیکی متناسب با سرعت و در جریان آشفته متناسب با سرعت به توان عددی بین $1/7$ و 2 میباشد. مقدار این توان به عدد رینولدز و زبری جداره

داخلی لوله بستگی دارد. $i \propto V$ جریان آرام

$i \propto V^n$ جریان مغشوش

رابطه گرادیان هیدرولیکی و سرعت در جریان آرام توسط معادله پوازی به شکل زیر بیان میشود :

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

همچنین در جریان آرام برای پیدا کردن ضریب اصطکاک (f)، از رابطه (3) استفاده میشود.

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{رابطه (۳)}$$

و اما در جریان های آشفته، در یک لوله با مقطع دایره ای به قطر D و طول L، افت فشار طولی از رابطه داریسی و بسباخ به صورت زیر استفاده میشود :

$$hf = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه (۴)، که شکل معادله بصورت افت هد بیان شده است، f ضریب اصطکاک لوله نامیده می شود که به عدد رینولدز جریان و زبری داخلی لوله بستگی دارد.

ضریب اصطکاک f برای جریان های آرام و برای جریانهای متلاطم برحسب اینکه لوله به صورت صاف، کاملاً زبر و یا بین این دو حالت عمل کند، متفاوت است، f هنگامی که لوله به صورت صاف عمل میکند تابعی از Re، زمانی که به

صورت کاملاً زبر عمل میکند تابعی از زبری نسبی $(\frac{\epsilon}{d})$ ، و در فاصله این دو حالت، تابعی از هر دو عامل Re و $(\frac{\epsilon}{d})$

می باشد.

در عمل رابطه گرادیان هیدرولیکی بر حسب سرعت را به صورت رابطه (۵) نشان میدهند که K و n برای یک جریان

و لوله معین، ثابت است :

$$i = K u^n \quad \text{رابطه (۵)}$$

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

برای انجام محاسبه ابتدا باید سرعت آب در لوله و عدد رینولدز را با فرمولهای زیر محاسبه نمود:

$$\text{رابطه (۶)} \quad V = \frac{Q}{A} \quad \text{سرعت جریان}$$

$$\text{رابطه (۷)} \quad Re = \frac{VD}{\nu} \quad \text{عدد رینولدز}$$

همچنین برای محاسبه مقدار f میتوان از نمودار مودی یا معادلات تجربی ارائه شده استفاده نمود.

مقدار (ϵ) نیز برای لوله های متفاوت در کتابهای مرجع لوله کشی داده شده است.

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

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log \left[\frac{\epsilon}{D} + \frac{9.35}{Re \sqrt{f}} \right] \quad \text{رابطه (۸)}$$

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

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad \text{رابطه (۹)}$$

عوامل افت فشار در لوله:

عوامل متعدد و زیادی در افت فشار آب جاری در لوله تاثیر گذار هستند. اما مهمترین آنها عبارتند از:

- **طول لوله:** هر چه طول لوله و مسیر آن طولانی تر شود، افت فشار بیشتر خواهد شد.
- **زبری لوله:** سطح داخلی لوله ها دارای زبری ریز می باشد. لذا هر چه سطوح داخلی لوله ها زبر تر باشند، افت فشار بیشتر خواهد بود.
- **قطر لوله:** افت فشار آب با قطر لوله نسبت معکوس دارد. یعنی هر چه قطر لوله کمتر شود، افت فشار بیشتر خواهد شد.
- **سرعت سیال:** هر چه سرعت سیال در لوله افزایش یابد، افت فشار بیشتر خواهد شد.
- **رسوب:** همانطور که می دانیم رسوب هم زبری داخل لوله را بیشتر می کند و هم قطر داخلی را کاهش می دهد. بنابراین با افزایش رسوب، افت فشار افزایش می یابد.
- **اتصالات:** معمولاً اتصالاتی نظیر شیرآلات، زانویی ها، سه راهی ها و غیره که باعث تغییر مسیر یا کاهش قطر مسیر می شوند باعث افزایش افت فشار خواهند شد.

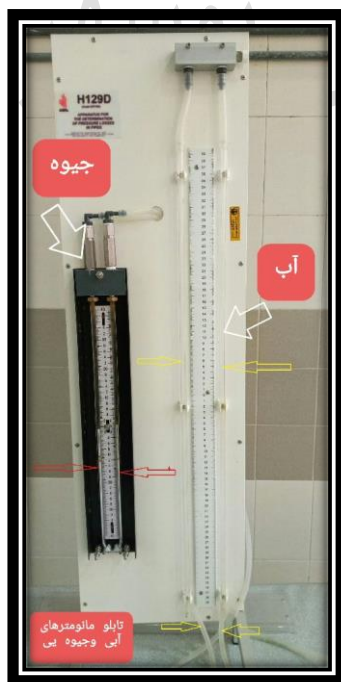
شرح دستگاه و روش آزمایش:

دستگاه مطابق شکل (۱)، دارای یک پنل عمودی شامل مانومترهای تفاضلی جیوه ای و آبی می باشد که می توان افت فشار بین دو نقطه از یک لوله مستقیم به طول ۵۰۰ میلیمتر و قطر اسمی ۳ میلیمتر را اندازه گرفت.

واضح است که در افت فشارهای کم (معمولاً جریان آرام) از مانومترهای تفاضلی آبی؛ **شکل (۳)**، و در افت فشارهای زیاد (معمولاً جریان آشفته)، از مانومترهای تفاضلی جیوه ای استفاده میشود.

همچنین این دستگاه دارای یک منبع آب تغذیه و پمپ آب در پایین و یک دستگاه دبی سنج متصل به لوله مستقیم در بالا می باشد.

برای اندازه گیری دبی حجمی آب در سیستم از یک جریان سنج (روتامتر) استفاده میگردد. **شکل (۴)**



شکل (۳): مانومترهای تفاضلی آبی و جیوه ای



شکل (۴): دستگاه جریان سنج (روتامتر)

تغییرات دبی آب توسط شیر کنترل روتامتر انجام میگیرد. برای برقراری جریان آرام، از یک مخزن آب در ارتفاع پایین استفاده میشود و برای برقراری جریان آشفته، مخزن آب را در امتداد میله نگهدارنده اش جابجا و بالا و یا پایین می آوریم . شکل (۵)



شکل (۵): مخزن آب تغذیه سیستم

مرحله اول آزمایش : برای انجام مرحله اول آزمایش ، خروجی پمپ آب را به مخزن آب (در ارتفاع پایین) وصل نموده و سپس توسط لوله ای در زیر تانک آن را به داخل لوله مستقیم مورد آزمایش هدایت کنید. شیر کنترل جریان سنج (روتامتر) را باز کنید به طوری که دبی جریان عبوری از آن در بالاترین مقدار ممکن باشد. توسط مانومتر تفاضلی آبی میتوان افت فشار (افت هد) را خوانده و نتیجه را یادداشت کرد.

با بستن تدریجی روتامتر در انتهای لوله مستقیم این مرحله از آزمایش را برای چند دبی مختلف انجام دهید. اندازه گیری دبی حجمی در هر مرحله توسط روتامتر انجام می گیرد.

مرحله دوم: برای انجام مرحله دوم آزمایش ارتفاع مخزن آب را بیشتر کرده (حداکثر ارتفاع) و این بار توسط مانومتر جیوه ای افت فشار (افت هد) را می خوانیم. با توجه به اینکه در چنین حالتی فشار خروجی آب مخزن در لوله مستقیم مورد آزمایش بیشتر هست، بنابراین بیشتر جریان آشفته میباشد.

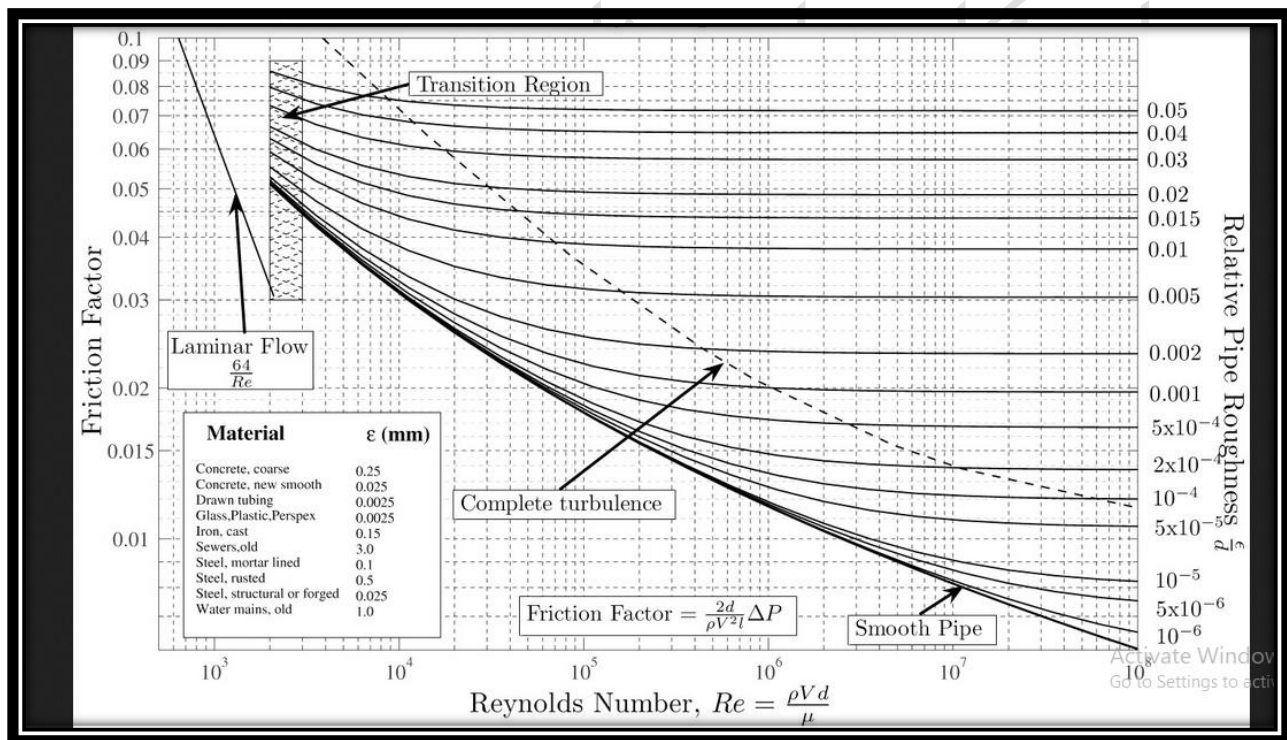
در این مرحله چون افت فشار زیادتر است از مانومترهای تفاضلی جیوه ای ، **شکل (۴)** ، برای اندازه گیری Δh استفاده میشود.

برای اندازه گیری دبی حجمی در این مرحله هم با جریان سنج روتامتر چند دبی مختلف را اندازه گیری میکنیم. لازم به ذکر است برای محاسبه ضریب ویسکوزیته، دمای متوسط آب نیز در طول آزمایش اندازه گیری شود و تفاضل ارتفاع مانومترهای جیوه ای در عدد ۱۲.۶ ضرب گردد تا افت هد بر اساس ارتفاع آب به دست آید .

محاسبه ضریب اصطکاک با استفاده از دیاگرام مودی :

راه دیگر برای پیدا کردن ضریب اصطکاک (f) در لوله های صاف یا زبر استفاده از نمودار مودی می باشد.

در این روش با مشخص بودن زبری نسبی لوله $(\frac{\epsilon}{d})$ ، و محاسبه مقدار عدد رینولدز ، و تلاقی دادن این مقادیر $(Re , (\frac{\epsilon}{d}))$ بر روی منحنی های نمودار مودی ، می توان ضریب افت طولی همه لوله ها را بدست آورد. **شکل (۶)**



شکل (۶) : نمودار مودی

جدول نتایج آزمایش :

	$Q (m^3/s)$	$V (m/s)$	$h_1 (cm)$	$h_2 (cm)$	$(h_1 - h_2)$	i	$\rho (kg/m^3)$	$\mu (kg/m.s)$	Re	f	$T (^\circ C)$
1											
2											
3											

جدول (۱): محاسبه داده ها برای جریان آرام

	$Q (m^3/s)$	$V (m/s)$	$h_1 (cm_{Hg})$	$h_2 (cm_{Hg})$	$(h_1 - h_2)$	i	$\rho (kg/m^3)$	Re	f	$\frac{\epsilon}{d}$	$T (^\circ C)$
1											
2											
3											

جدول (۲): محاسبه داده ها برای جریان آشفته

پرسشها و نمودارها :

۱. نمودار i بر حسب u را برای جریان آرام و آشفته در یک نمودار ترسیم کنید و بحث نمایید.
۲. منحنی لگاریتمی تغییرات $\log i$ بر حسب $\log v$ را برای هر دو مرحله ی آزمایش رسم کنید و بر روی آن بحث کنید.
۳. از روی نتایج جریان آرام لزجت دینامیکی سیال (μ) را حساب کنید.
۴. مقدار ضریب اصطکاک (f) را از رابطه داریسی بدست آورید. مقادیر بدست آمده را بر حسب عدد رینولدز (Re) رسم نمایید. به کمک نمودارمودی زبری نسبی لوله را بدست آورید.
۵. نتیجه گیری و برداشت شخصی خود را در کنار هر یک از منحنی های ترسیم شده یادداشت کنید.

دانشگاه خلیج فارس بوشهر

آزمایش ونتوری متر

(Venturi Meter)

هدف آزمایش :

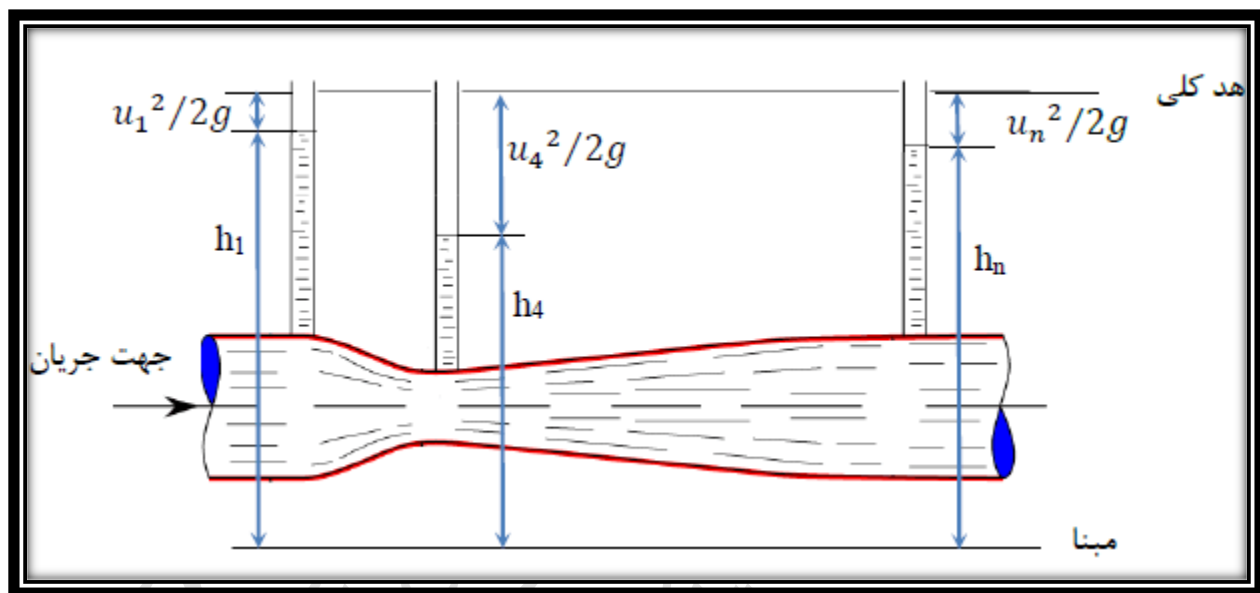
هدف از این آزمایش آشنایی با ونتوری متر، بدست آوردن ضریب تخلیه و همچنین بررسی تغییرات فشار در طول یک جریان سنج ونتوری متر می باشد، همچنین بررسی رابطه برنولی به وسیله اندازه گیری سرعت و فشار در مقاطع مختلف یک ونتوری افقی و مقایسه آن با حالت تئوری می باشد. **شکل (۱)**



شکل (۱) : دستگاه ونتوری متر

تئوری آزمایش :

ونتوری لوله ای با قطر متغیر است که ابتدا سطح مقطع آن به تدریج کم می‌گردد و بعد از یک قسمت باریک (گلوگاه) دوباره سطح مقطع آن اضافه شده تا به قطر اولیه برسد. **شکل (۲)**



شکل (۲): شرایط ایده آل در ونتوری متر

اگر **شکل (۲)** جریان ایده آل را در لوله ونتوری نشان بدهد. A_1 ، A_3 و A_n بترتیب سطح مقطع لوله ونتوری در ورودی، گلوگاه و هر مقطع اختیاری و همچنین h_1 ، h_3 و h_n ارتفاعات پیزومتری در این مقاطع باشند، با صرفنظر کردن از افت انرژی در لوله ونتوری میتوان رابطه ی برنولی و پیوستگی را بین دو مقطع نوشت و رابطه (۱) را به دست آورد.

$$\left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

براساس رابطه پیوستگی ، شدت جریان برابر است با:

$$(Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 = \dots = A_n V_n) \quad \text{رابطه (۲)}$$

V_1, V_2 و V_n سرعت جریان در مقاطع مختلف A_1, A_2 و A_n می باشند.

از تلفیق رابطه ۱ و ۲ خواهیم داشت :

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

مقدار تئوری شدت جریان برابر است با :

$$Q_T = A_2 V_2 = A_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در عمل و بر اثر وجود افت انرژی و اصطکاک ، مقدار واقعی شدت جریان کمتر از مقدار محاسبه شده است بطوریکه :

$$Q_R = C Q_T \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در اینجا C ضریب تخلیه دستگاه و Q_T و Q_R به ترتیب شدت جریان واقعی و تئوری می باشند.

توزیع تئوری فشار در طول ونتوری با توجه به رابطه برنولی بصورت زیر می باشد :

$$h_n - h_1 = \frac{V_1^2 - V_n^2}{2g} \quad \text{رابطه (۶)}$$

برای مقایسه نتایج محاسبات و آزمایش بهتر است ترم $(h_n - h_1)$ بصورت تابعی از سرعت در گلوگاه نوشته شود :

$$\frac{h_n - h_1}{\frac{v_3^2}{2g}} = \frac{(V_1^2 - V_n^2)}{V_3^2} \quad \text{رابطه (۷)}$$

با استفاده از رابطه پیوستگی و معادله شماره ۷ ، معادله شماره ۸ حاصل میشود :

$$\frac{h_n - h_1}{\left(\frac{v_3^2}{2g}\right)} = \left(\frac{A_3}{A_1}\right)^2 - \left(\frac{A_3}{A_n}\right)^2 \quad \text{رابطه (۸)}$$

روش آزمایش : دانشگاه خلیج فارس بوشهر

مرحله اول آزمایش : دستگاه را روشن نموده و با شیر کنترل یک جریان ثابت و دائمی را در سیستم برقرار میکنیم . سعی میکنیم تمام حباب های موجود در لوله های مانومترها را با آهسته ضربه زدن به لوله های مانومتر خارج بکنیم .

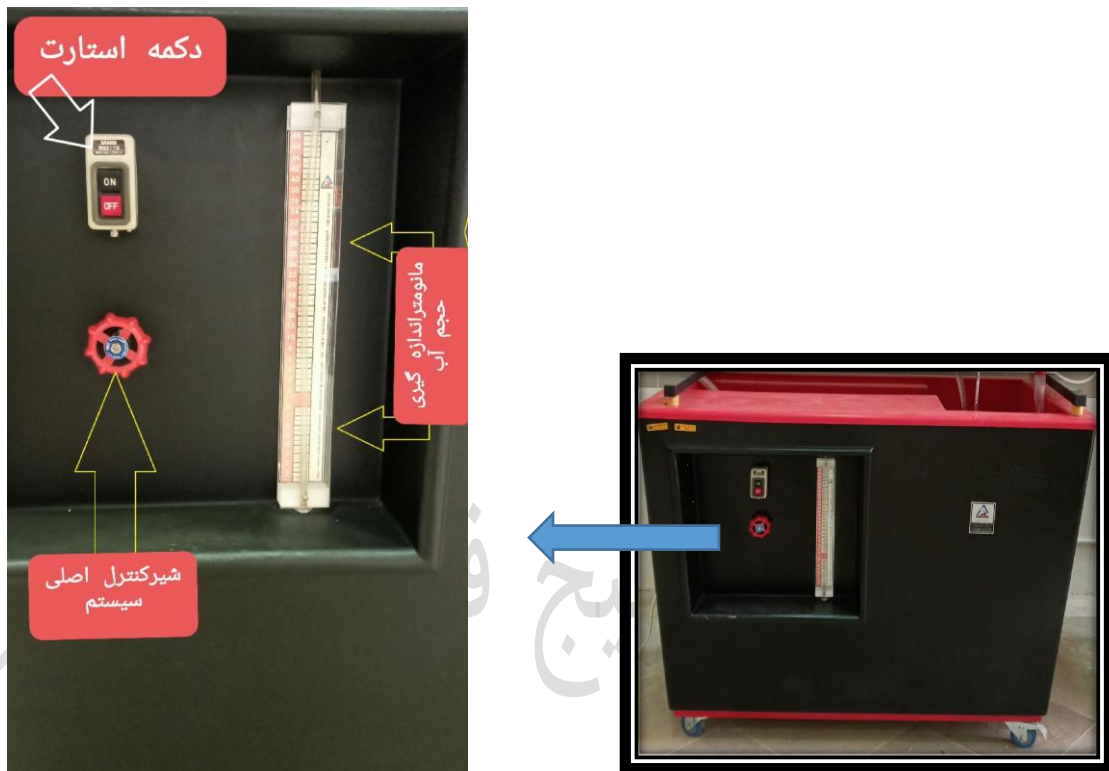
پس از برقرار شدن ارتفاع آب در همه مانومترها ، اعداد مربوط به هد معادل فشار در همه مانومترها را یادداشت میکنیم . در اینجا باید دبی حجمی مربوط به این مرحله را هم با میز هیدرولیکی دستگاه و نتوری متر اندازه گیری کنیم ،

برای اندازه گیری شدت جریان با میز هیدرولیکی ابتدا با بستن خروجی آب از میز هیدرولیکی یک حجم آب مشخص (مثلا ۱۰ لیتر) را با مانومتری که بدین منظور در بدنه میز هیدرولیکی تعبیه شده اندازه میگیریم ، سپس با کرومتری که از قبل آماده کرده ایم زمان جمع آوری این مقدار آب (۱۰ لیتر) را یادداشت میکنیم . با تقسیم این حجم آب بر زمان جمع آوری آب ، شدت جریان یا دبی حجمی را بدست می آوریم . **شکل (۳)**

$$Q_R = \frac{V(m^3)}{T(s)} \quad \text{رابطه (۹)}$$

این مرحله را برای ۹ بار دیگر تکرار کرده و هر بار با شیر کنترل دستگاه شدت جریان را بیشتر و یا کمتر میکنیم.

در تمامی این ۱۰ مرحله ارتفاع همه مانومترها را هم باید یادداشت بکنیم.

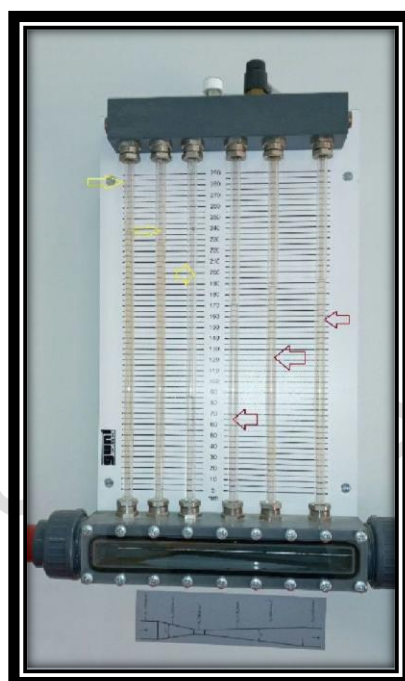


شکل (۳): میز هیدرولیکی

مرحله دوم: داده برداری در این آزمایش را برای محاسبه راندمان دستگاه و یا مقایسه مقادیر بدست آمده آزمایش و مقادیر تئوری در رابطه شماره ۸ (که در محاسبات قبل دیدیم) باید انجام بدهیم.

$$\frac{h_n - h_1}{\left(\frac{v_3^2}{2g}\right)} = \left(\frac{A_3}{A_1}\right)^2 - \left(\frac{A_3}{A_n}\right)^2 \quad \text{رابطه (۸)}$$

برای این منظور (محاسبه راندمان دستگاه) ابتدا یک شدت جریان ماکزیمم را در سیستم برقرار میکنیم ، پس از یادداشت نمودن همه ارتفاع های معادل فشار در مانومترها در این دبی ماکزیمم، **شکل (۴)** ، بوسیله میز هیدرولیکی و یک عددکرونومتر ، دبی ماکزیمم را هم اندازه می گیریم . لازم به تذکر می باشد که در رابطه بالا (۸) ، بجای n در سمت چپ رابطه ، بترتیب ارتفاع معادل فشار در مانومترهای ونتوری متر و در سمت راست معادله ، بجای n ، سطح مقطع های ونتوریمتر را مینویسیم .



شکل (۴) : مانومترهای آبی ونتوری متر

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

$$R = \frac{(h_6 - h_3)}{(h_1 - h_3)} \times 100$$

درصد بهبود افت فشار

جدول نتایج آزمایش :

	V (cm^3)	T (s)	Q_R (m^3/s)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	h_3 (cm)	h_4 (cm)	h_5 (cm)	h_6 (cm)	$(h_1 - h_3)$ (cm)	$(h_1 - h_3)^{1/2}$	C
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

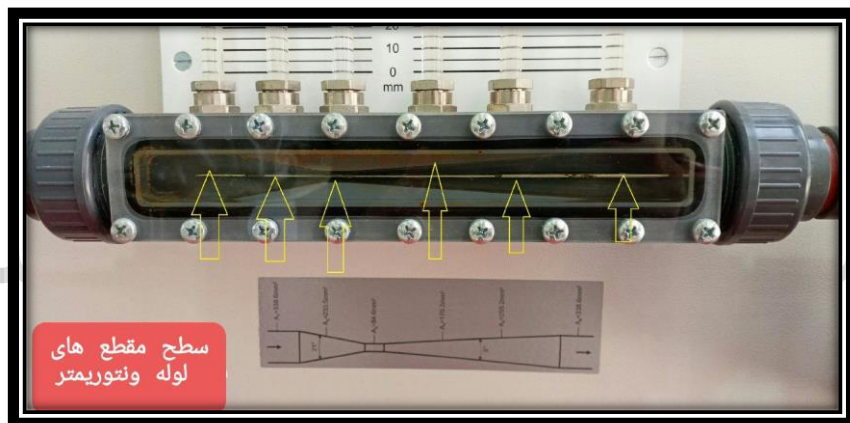
جدول (۱) : نتایج مرحله اول آزمایش

	V_{max} (cm^3)	t_{max} (s)	Q_{max} (m^3/s)	A_n (cm^2)	h_n (cm)
۱					
۲					
۳					
۴					
۵					
۶					

جدول (۲) : نتایج مرحله دوم آزمایش

$A_1 \text{ (mm}^2\text{)}$	$A_2 \text{ (mm}^2\text{)}$	$A_3 \text{ (mm}^2\text{)}$	$A_4 \text{ (mm}^2\text{)}$	$A_5 \text{ (mm}^2\text{)}$	$A_6 \text{ (mm}^2\text{)}$
۳۳۸.۶	۲۳۳.۵	۸۴.۶	۱۷۰.۲	۲۵۵.۲	۳۳۸.۶

جدول (۳): اندازه های سطح مقطع لوله ونتوری متر



شکل (۵): سطح مقطع های ونتوری متر

پرسشها و نمودارها:

۱. نتایج حاصل از مرحله اول آزمایش را در جدول شماره (۱) وارد کرده و آنرا کامل کنید.
۲. برای تعیین توزیع فشار تجربی نتایج حاصل از مرحله دوم آزمایش را که در آن از دبی ماکزیمم استفاده شده را در جدول شماره (۲) وارد کرده و آنرا کامل کنید.
۳. منحنی تغییرات $(h_1 - h_3)^{\frac{1}{2}}$ را در مقابل Q_R رسم کنید.
۴. منحنی تغییرات C را بر حسب شدت جریان رسم کنید.
۵. مقدار تجربی و تئوریک $\left\| \frac{hn-h1}{\left(\frac{v3^2}{2G}\right)} \right\|$ (رابطه شماره ۸) را در طول ونتوری متر و جهت مقایسه بر روی یک صفحه رسم کنید.
۶. نحوه تغییرات سرعت و فشار در قسمت همگرا و واگرا متفاوت است. در مورد این تغییرات بحث کنید.
۷. فرق لوله ونتوری متر با نازل جریان را بنویسید.
۸. مقدار ضریب C به چه پارامترهایی بستگی دارد.
۹. پیزومتر چیست و چه کاربردی دارد.

آزمایش سرریز (Weires)

هدف آزمایش:

هدف از این آزمایش بررسی دبی عبوری از سرریزهایی با طرح‌های هندسی متفاوت و محاسبه رابطه‌های 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. **شکل (۱)** و **شکل (۲)**



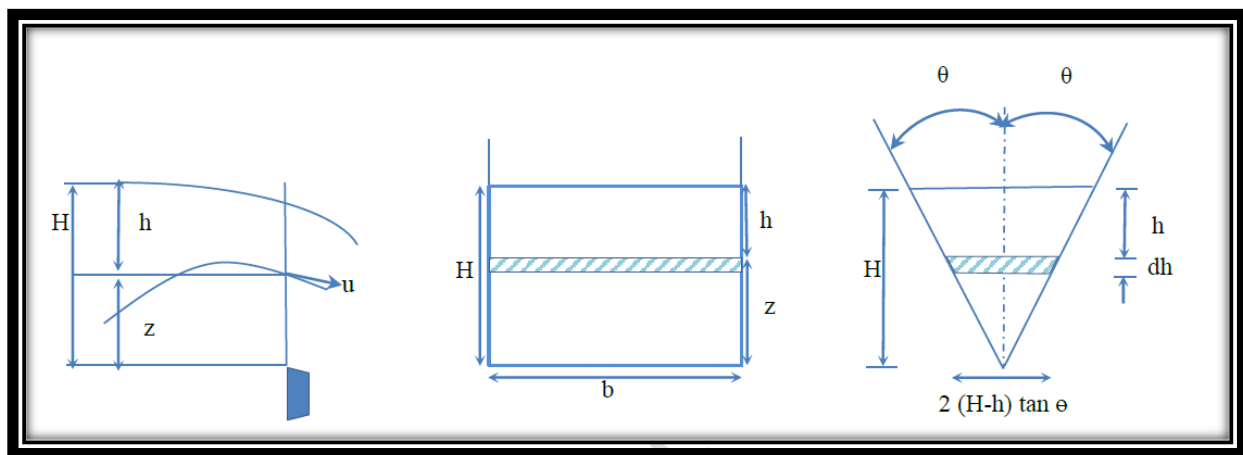
شکل (۱): دستگاه آزمایش سرریز



شکل (۲): سرریزهای لبه تیز مستطیلی و مثلثی

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، رابطه (۲)، 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 (۳)



شکل (۳): شماتیک جریان آب روی سرریز مثلثی متقارن و مستطیلی

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + H_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + (H_1 - h) \quad \text{رابطه (۱)}$$

بدلیل بزرگ بودن عرض کانال نسبت به عرض سرریز سرعت جریان در بالادست جریان را ناچیز و در حد صفر فرض می‌کنیم و فشار اتمسفریک در هر دو طرف رابطه زده خواهند شد، در نتیجه سرعت جریان بدست می‌آید :

$$h = \frac{V_2^2}{2g} \quad \rightarrow \rightarrow \quad V = \sqrt{2gh} \quad \text{رابطه (۲)}$$

بعد از محاسبات و انتگرال‌گیری، دبی تئوری جریان از روی سرریز مستطیلی و مثلثی به ترتیب از معادله ۳ و ۴ محاسبه می‌شود .

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 = \dots$$

$$dA = b dh$$

$$Q = \int_0^H V dA$$

$$Q = \int_0^H \sqrt{2gh} b dh = \sqrt{2gb} \int_0^H \sqrt{h} dh$$

$$Q = \sqrt{2g} b \frac{h^{\frac{3}{2}}}{\frac{3}{2}} \Big|_0^H$$

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} b H^{\frac{3}{2}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

و برای سرریز مثلثی بصورت رابطه (۴) نوشته می شود:

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \theta H^{\frac{5}{2}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

به طور کلی در وسایل اندازه گیری دبی حجمی توسط سرریزهای معین، رابطه تغییرات دبی بر حسب ارتفاع بصورت رابطه (5) می باشد:

$$Q = KH^n \quad \text{رابطه (۵)}$$

می دانیم 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:

$$Q = \frac{2}{3} C \sqrt{2g} b H^{\frac{3}{2}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$Q = \frac{8}{15} C \sqrt{2g} \tan \theta H^{\frac{5}{2}} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در اینجا (C)، ضریب تخلیه سرریز نامیده می شود، و K و n در محدوده عمل تقریباً ثابتی دارند.

به کمک رسم نمودار $\log Q$ بر حسب $\log H$ می‌توان مقادیر n و K را برای هر سرریز به‌دست آورد. از نظر تئوری مقادیر n و K را می‌توان با مقایسه روابط ۳ و ۴ تعیین نمود.

شرح دستگاه و روش آزمایش :

نخست دستگاه آزمایش را تنظیم و از نظر افقی بودن تراز کرده و یکی از سرریزها را روی دستگاه قرار داده و پمپ را روشن نموده تا جریان از سرریز عبور نماید.

سپس پمپ را خاموش کرده تا آب اضافه از روی سرریز خارج شده و سطح آب با تاج سرریز در یک سطح قرار گیرد.

نوک قلاب میکرومتر را در سطح آب روی تاج سرریز تنظیم نموده و درجه میکرومتر را یادداشت کنید.

مجدداً پمپ را روشن کرده و شیر را تا مقداری باز کرده تا جریان برقرار گردد.

نوک قلاب میکرومتر را مجدداً در سطح آب تنظیم نموده و درجه میکرومتر را یادداشت نموده و زمان جمع آوری مقدار معین آب را اندازه بگیرید. این عمل را برای ۶ مقدار مختلف تکرار نموده و حداقل مقدار H باید به اندازه ای باشد که آب بدون نشت از دهانه سرریز سقوط آزاد داشته باشد. (شکل ۴) و (شکل ۵)



شکل (۵) : محل قرارگیری قلاب میکرومتر



شکل (۴) : سقوط آزاد جریان روی سرریز مثلی



شکل (۶): محل نصب سرریز لبه تیز مستطیلی بر روی کانال

برای انجام محاسبات، عرض بریدگی سرریز مستطیلی را $6/2 \text{ cm}$ و عرض و ارتفاع سرریز مثلثی را به ترتیب 12 cm و 6 cm در نظر بگیرید.

جدول نتایج آزمایش :

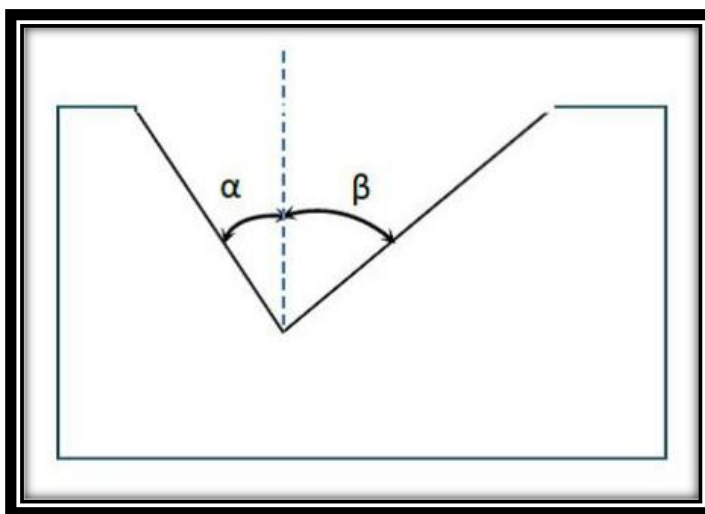
برای آزمایش سرریز مثلثی و مستطیلی جدول (۱) را بصورت جداگانه کامل کنید.

	$Q_R \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right)$	H (cm)	$\log Q_R$	$\log H$	$(\frac{\text{cm}^3}{\text{s}}) Q_T$	C
۱						
۲						
۳						
۴						
۵						
۶						

جدول (۱): مقادیر دبی تئوری و تجربی برای سرریز مستطیلی و مثلثی

پرسشها و نمودارها :

- ۱ مقادیر دبی تجربی Q_R را بر حسب ارتفاع آب از لبه سرریز H برای سرریز مثلثی و مستطیلی جداگانه ترسیم نمایید.
- ۲ مقادیر $\log Q_R$ را بر حسب $\log H$ برای هر سرریز جداگانه رسم نموده و به کمک آن مقادیر n و k تجربی را به دست آورید و جدول را کامل کنید.
- ۳ آیا نقاط $\log Q_R$ و $\log H$ روی یک خط مستقیم قرار دارند؟ اگر جواب منفی است علت آن چیست؟
- ۴ نمودار تغییرات Q_R 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 سرریز مثلثی غیرمتقارن همانند شکل زیر، **شکل (۷)** داشته باشیم رابطه‌ای برای محاسبه دبی تئوری بر حسب ارتفاع از لبه سرریز به دست آورید.



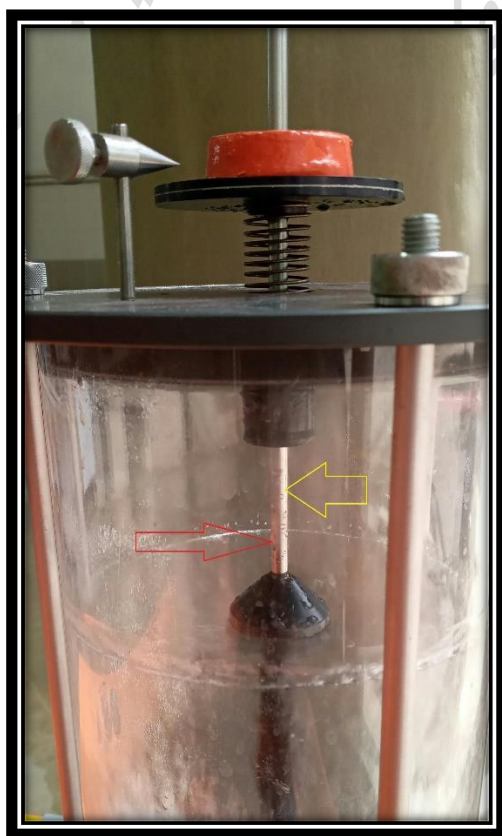
شکل (۷): سرریز مثلثی غیر متقارن

اندازه گیری نیروی حاصل از برخورد جت آب

(Impact of a Water Jet)

هدف آزمایش :

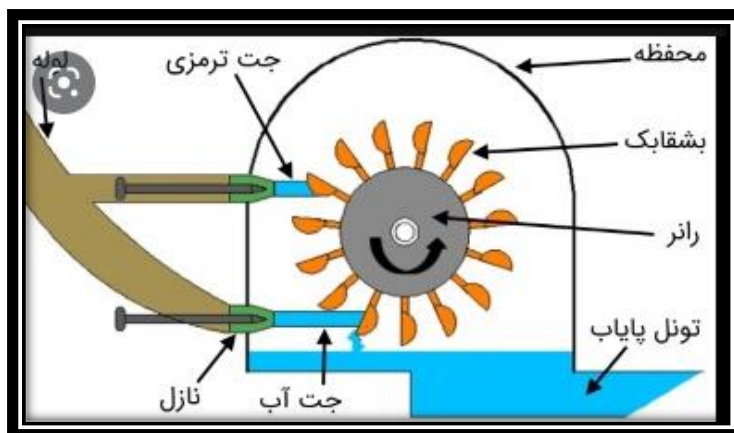
آزمایش نیروی برخورد جت آب یکی از آزمایش های هیدرولیک می باشد. هدف از این آزمایش اندازه گیری نیروی تجربی حاصل از برخورد جت آب به یک سطح صاف و نیمکره و مقایسه این نیرو با تغییرات مقدار حرکت خطی جت آب نسبت به زمان میباشد.



شکل (۱): دستگاه آزمایش جت آب

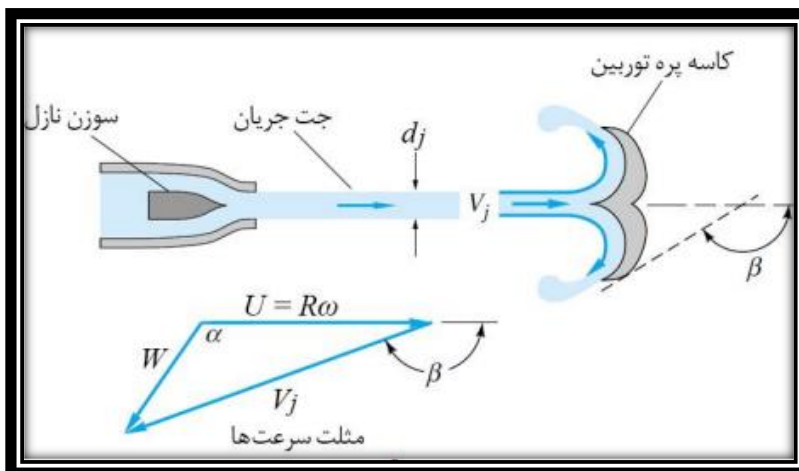
تئوری آزمایش :

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



شکل (۲): چرخ پلتون

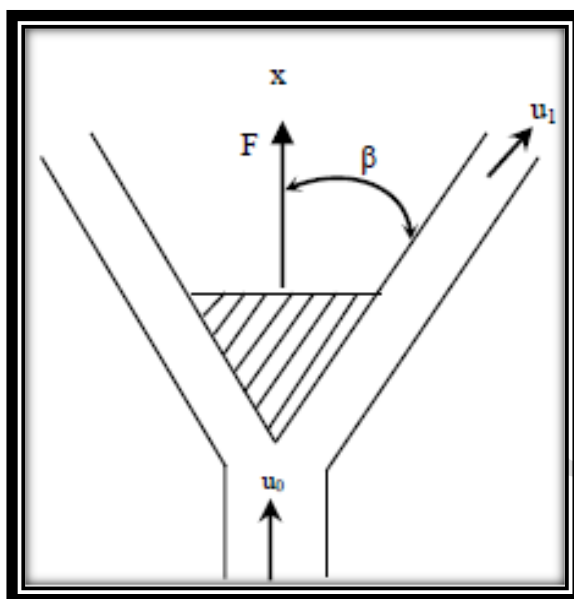
وقتی که جت آب به مانعی برخورد کند، امتداد سرعت آن تغییر میکند، طبق رابطه مومنتم خطی، نیرویی بر مانع اعمال میشود که در حالت دائمی بودن جریان و با این فرض که فقط نیروی سطحی بر مانع اعمال شود این نیرو برابر با تغییرات مقدار حرکت خطی جریان نسبت به زمان با علامت مخالف میباشد.



شکل (۳): تغییر امتداد سرعت در برخورد جت آب به یک پره

اگر در حالت کلی مانعی را همانند **شکل (۴)** 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، برای یک حجم کنترل انتخابی در جهت x ، مقدار نیروی اعمال شده را نتیجه میدهد که به صورت رابطه زیر است:

$$F = \dot{m}u_0 - \dot{m}u_1 \cos \beta = \dot{m}(u_0 - u_1 \cos \beta) \quad \text{رابطه (۱)}$$



شکل (۴): شماتیک برخورد جت آب به یک مانع

مطابق **شکل (۴)**، پره متعارفی را در نظر می گیریم که در آن جت آب با دبی جرمی Q_w بر حسب $(\frac{kg}{s})$ و با سرعت u_0 بر حسب $(\frac{m}{s})$ به آن برخورد کرده و به اندازه β تغییر جهت می دهد.

دبی جرمی از حاصلضرب دبی حجمی در جرم مخصوص سیال به دست می آید:

$$Q_m = \rho Q$$

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

با توجه به قوانین مکانیک سیالات می توان گفت، **اندازه حرکت ورودی در جهت x برابر است با:**

$$F = \rho q u_0 \quad \left(\frac{kgm}{s^2}\right) (N) \quad \text{رابطه (۲)}$$

همچنین مقدار اندازه حرکت خروجی پس از پره در جهت x برابر است با:

$$F = \rho q u_1 \cos \beta \quad (\text{رابطه (۳)}) \quad (\text{N})$$

با توجه به قوانین بقای اندازه حرکت داریم :

$$F = \rho q (u_0 - u_1 \cos \beta) \quad (\text{رابطه (۴)}) \quad (\text{N})$$

(تغییر اندازه حرکت در امتداد x = نیروی وارده در جهت x)

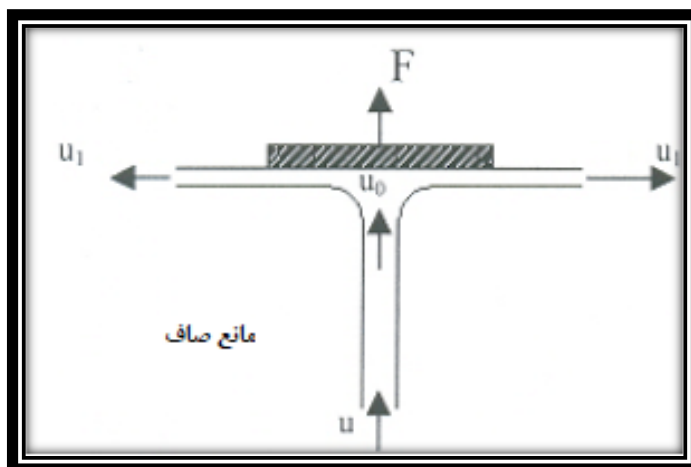
لذا با داشتن مقادیر و جهت های سرعت ورودی و خروجی می توان نیروی وارد بر جسم از طرف سیال را محاسبه کرد .

مانع صاف و مانع نیم کره ای :

در حالتی که مانع به صورت یک سطح صاف و عمود بر امتداد سرعت باشد، **شکل (۵)** ، در این حالت مقدار زاویه انحراف β در امتداد سرعت 90° درجه میباشد و لذا **معادله ۲** به صورت رابطه زیر مورد استفاده قرار میگیرد:

$$\beta = 90^\circ \Rightarrow \cos \beta = 0$$

$$F = \dot{m} u_0 \quad (\text{رابطه (۵)}) \quad (\text{N})$$

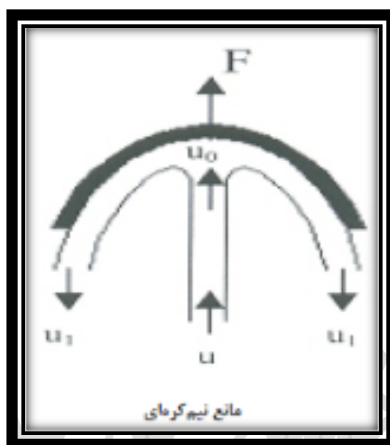


شکل (۵) : شماتیک مانع تخت

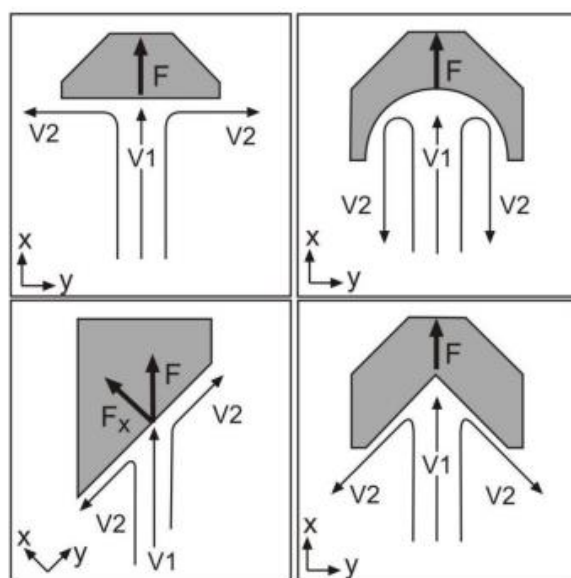
در حالتی که مانع به صورت یک سطح نیمکره ای توخالی (فنجانی شکل) و عمود بر امتداد سرعت باشد، **شکل (۶)**، مقدار زاویه انحراف β در امتداد سرعت برابر با 180° درجه خواهد شد. در چنین حالتی اگر از تغییرات سرعت ناشی از اختلاف ارتفاع و تغییرات فشار پیزومتریک صرفنظر شود نیروی موثر بر مانع از رابطه زیر به دست می آید :

$$\beta = 180 \Rightarrow \cos\beta = -1$$

$$F = 2 \dot{m} u_0 \quad (\text{N}) \quad \text{رابطه (۶)}$$



شکل (۶) : شماتیک مانع نیم کره



شکل (۷) : شماتیک نمونه های مختلف در دستگاه جت آب

محاسبه سرعت جریان در نقطه برخورد به صفحه :

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 میتوان 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 نیروی ثقل، کمتر از u میشود. لذا u_0 را میتوان از رابطه زیر تعیین نمود :

$$u_0^2 = u^2 - 2gh \quad \text{رابطه (۷)}$$

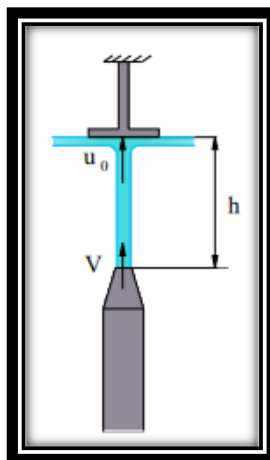
(که در آن h فاصله ی مرکز تیغه تا دهانه خروجی نازل و مساوی ۲۵ میلیمتر می باشد.)

با توجه به اینکه $Q = AV$ می باشد، با محاسبه Q از طریق میز هیدرولیکی و با توجه به معلوم بودن سطح مقطع خروجی شیپوره، می توان u_0 را بدست آورد . (قطر شیپوره ۸ میلیمتر است) ، شکل (۸)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{u_0^2}{2g} + Z_2$$

$$0 + \frac{V^2}{2g} + 0 = 0 + \frac{u_0^2}{2g} + h$$

$$u_0^2 = V^2 - 2gh$$



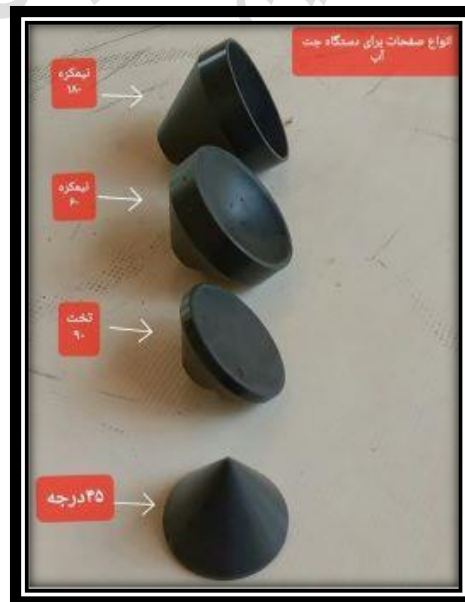
شکله (۸) : شماتیک نحوه محاسبه سرعت برخورد جت به مانع

روش انجام آزمایش :

قبل از آزمایش می بایست سیستم را تراز کنید. برای این منظور سوزن تراز سیستم را به گونه ای جابجا کنید که سر سوزن و شیر حک شده روی صفحه نگهدارنده وزنه ها مماس شوند. مانع مسطح را در محل مخصوص ببندید. شیر خروجی پمپ را به طور کامل باز کنید. جت آب با حداکثر دبی خود با مانع برخورد می کند و اهرم را از وضعیت تعادل اولیه خود خارج می کند .

با قرار دادن وزنه، مجددا اهرم را در وضعیت اولیه قرار دهید. مقدار دبی و مقدار وزنه هایی که بر روی کفه بارگذاری قرار می دهید را اندازه بگیرید و در جدول یادداشت نمایید. این مرحله از آزمایش را برای دبی های مختلف انجام دهید. بعد از انجام آزمایش بر روی مانع تخت، شیر کنترل پمپ را بسته، مانع تخت را باز نمایید. تیغه کروی را متصل نموده و آزمایش را با آن نیز تکرار و نتایج را در جدول یادداشت نمایید.

دانشگاه خلیج فارس بوشهر



شکل (۹) : انواع صفحات برای دستگاه جت آب

جدول نتایج آزمایش :

	T (s)	V (Lit)	$Q (\frac{m^3}{s})$	m (kg)	$\dot{m} (\frac{kg}{s})$	$V_0 (\frac{m}{s})$	$V (\frac{m}{s})$	$\dot{m}V(N)$	mg (N)	η
۱										
۲										
۳										
۴										
۵										
۶										

جدول (۱) : نتایج مربوط به مانع تخت

	T (s)	V (Lit)	$Q (\frac{m^3}{s})$	m (kg)	$\dot{m} (\frac{kg}{s})$	$V_0 (\frac{m}{s})$	$V (\frac{m}{s})$	$\dot{m}V(N)$	mg (N)	η
۱										
۲										
۳										
۴										
۵										
۶										

جدول (۲) : نتایج مربوط به مانع نیم کره

پرسش ها و نمودارها :

- ۱ مقادیر نیروی تجربی و نیروی تئوری روی هر مانع را بدست آورید و پس از مقایسه علل اختلاف را بیان کنید
- ۲ راندمان صفحه ی تخت و نیمکره را بدست آورید و علت تفاوت احتمالی موجود را بیان کنید.
- ۳ آیا تعادل دستگاه میتواند در اندازه گیری و نتایج آزمایش موثر باشد یا نه، توضیح دهید.
- ۴ موارد بکار گیری مومنتم جریان سیالات را در صنعت با ذکر چند نمونه بیان کنید.
- ۵ شیب منحنی F بر حسب mV را برای صفحه صاف و نیم کره رسم نموده و نتیجه گیری کنید.
- ۶ نقش نیروهای اصطکاکی را در هر دو مورد مانع بررسی کنید.

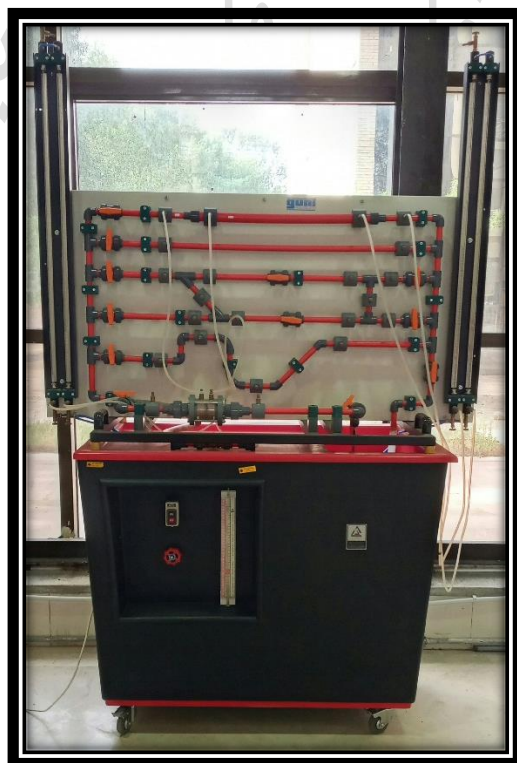
دانشگاه خلیج فارس بوشهر

آزمایش افت در اتصالات

(Energy Drop In Connections)

هدف آزمایش :

آزمایش افت انرژی جزئی (موضعی) از آزمایش های هیدرولیک می باشد. هدف از این آزمایش تعیین افت انرژی ناشی از اجزای سیستم لوله کشی (مانند زانویی، شیر و تغییرات ناگهانی سطح مقطع لوله) ، محاسبه رابطه ی بین افت انرژی و سرعت ، تغییرات ضریب اصطکاک با عدد رینولدز، همچنین تأثیر شعاع انحنای یک خم در مقدار افت انرژی محلی آن بررسی میگردد.



شکل (۱) : دستگاه آزمایش افت در اتصالات

تئوری آزمایش :

شبکه لوله‌ها مجموعه‌ای پیچیده از لوله‌ها و اتصالات گوناگون است که به منظور انتقال سیالاتی نظیر آب، گاز، نفت و دیگر سیالات مورد نیاز، استفاده می‌شود. تخمین میزان افت انرژی در شبکه‌های انتقال سیالات، یکی از مهم‌ترین مسائل در طراحی آن‌ها به منظور افزایش عملکرد و کارایی سیستم می‌باشد. در خط لوله‌های بلند، بخش غالب افت فشار ناشی از اصطکاک در لوله‌های مستقیم است، و افت فشار بوجود آمده توسط اتصالات و شیرها، در واقع «افت‌های جزئی» یا «minor loss» را تشکیل می‌دهند. با کاهش طول و پیچیده‌تر شدن لوله‌ها، نسبت افت‌های ناشی از اتصالات و شیرها افزایش می‌یابد، اما طبق قرارداد باز هم به آن‌ها **minor losses** گفته می‌شود. اتصالات و شیرها خطوط جریان عادی را آشفته کرده و اصطکاک ایجاد می‌کنند. در خطوط کوتاه با اتصالات بسیار، اتلاف اصطکاکی ناشی از اتصالات، ممکن است بزرگتر از اتلاف اصطکاکی ناشی از لوله مستقیم باشد.

افت انرژی کلی در یک سیستم لوله کشی 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.

افت انرژی طولی :



شکل (۲) : لوله مستقیم در یک شبکه جریان

افت انرژی در اثر اصطکاک در داخل یک لوله مستقیم به صورت کاهش فشار ظاهر می‌شود. اگر جریان مایعی از لوله مستقیم **شکل (۲)** عبور کند اختلاف ارتفاع سطوح مایع (Δh) در پیزومترهای ابتدا و انتهای لوله مستقیم معرف انرژی

اصطکاک یا افت فشار به ازای واحد وزن سیال جاری میباشد. نظر به اینکه افت فشار به ازای واحد وزن سیال دارای بعد طول است به آن افت هد یا افت ارتفاع هم می گویند .

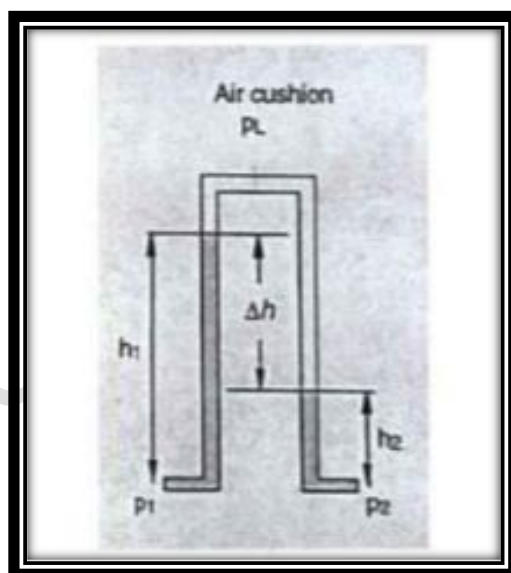
$$p_1 = p_L + h_1 \rho g$$

$$p_2 = p_L + h_2 \rho g$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = p_L + h_1 \rho g - p_L - h_2 \rho g$$

$$\Delta p = \Delta h \rho g$$

$$\Delta h = h_1 - h_2 \quad \text{رابطه (۱)}$$



شکل (۳): شماتیک افت هد یا افت ارتفاع

افت انرژی طولی در این قسمت را که لوله ای مستقیم به طول L و قطر ثابت d می باشد از رابطه زیر به دست می آوریم:

$$\Delta h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \text{رابطه (۲)}$$

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.

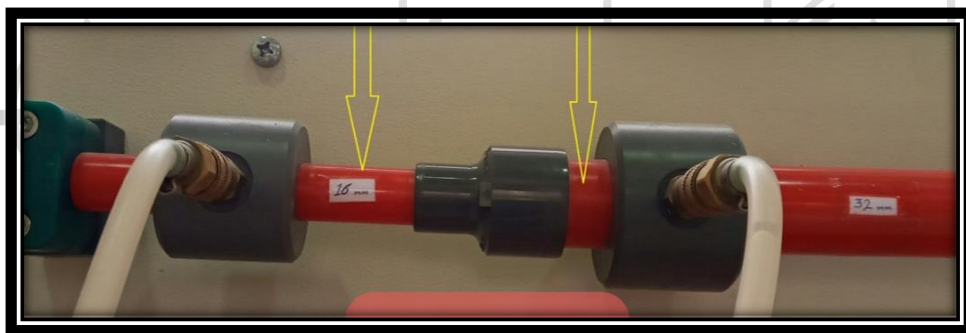
در لوله های نسبتاً صاف با عدد رینولدز بین ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ مقدار f را می توان از رابطه بلازیوس زیر به دست آورد:

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

افت انرژی در اثر تغییر ناگهانی سطح مقطع لوله :

اتصالات در واقع مانند مانعی ناگهانی در برابر جریان عمل می کنند و مقداری از انرژی سیال را می گیرند که باعث افت فشار میشود . زانویی ها، سه راهی ها، کاهنده ها، شیرها و سایر ادواتی که در خطوط لوله مورد استفاده قرار میگیرند باعث ایجاد افت فشار میشوند که افت فشارهای این چنینی به عنوان افت فشار اتصالات پایپینگ ، افت فشار فرعی ، افت فشار جزئی یا افت فشار موضعی شناخته میشوند.

شیرها هم مانند اتصالات باعث تغییر در روند حرکت سیال شده و ایجاد مانع می کنند و هرچقدر شیر بسته تر باشد افت فشار بیشتری ایجاد می کند.



شکل (۴): تغییر سطح مقطع لوله (انبساط ناگهانی)

مطابق شکل (۴) جریان آب در داخل لوله ای که سطح مقطع آن به طور ناگهانی تغییر میکند را در نظر بگیرید :

اگر سطح مقطع یک کانال ناگهان بزرگ شود، خطوط جریان سیال از دیواره جدا شده و به صورت یک جت وارد بخش بزرگتر میشوند سپس این جت منبسط شده و کل سطح مقطع مجرای بزرگتر را پر میکند فضای بین جت منبسط شده و دیواره مجرا از سیالی پر میشود که حرکت گردابی دارد و مشخصه جدایش لایه مرزی است در این حال اصطکاک قابل ملاحظه ای در این فضا ایجاد میشود . اگر افت انرژی در طول L از لوله برابر با Δh باشد و از افت انرژی جنبشی در قسمت با قطر بزرگتر (۳۲mm) صرفه نظر شود ، با نوشتن رابطه برنولی بین پیزومترهای نشان داده شده میتوان افت جزئی قسمت انبساط ناگهانی را از رابطه زیر به دست آورد :

$$\Delta h_L = \left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma} \right) + \left(\frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \right) \quad \text{رابطه (۴)}$$

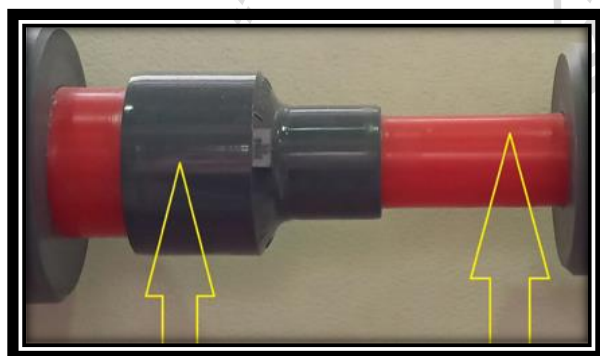
در رابطه (۴)، V_1 و V_2 سرعت‌های قبل و بعد از تغییر مقطع لوله، و $(P_1 - P_2)$ اختلاف ارتفاع پیزومترهای ورودی و خروجی می باشند.

افت فشار اتصالات پایپینگ به صورت هد تلف شده وسیله مورد نظر بیان شده و با استفاده از رابطه ی زیر محاسبه میشود:

$$h_f = K \frac{V^2}{2g} \quad \text{رابطه (۵)}$$

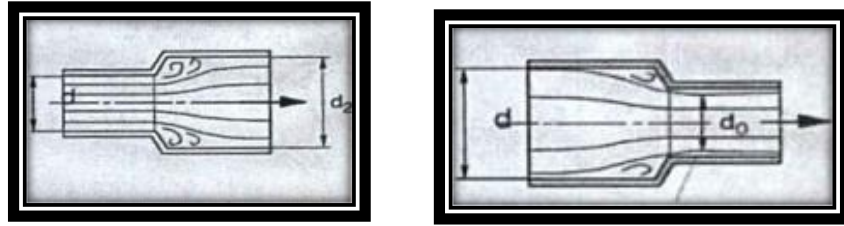
که در آن K ضریب افت نامیده می شود.

ماهیت اتلاف انرژی در هر دو مورد چه در انبساط ناگهانی چه در انقباض ناگهانی یکی هست و در هر دو، دلیل هدر رفتن انرژی، برخورد سیال با سرعت بیشتر به سیال با سرعت کمتر می باشد که جریان برگشتی را سبب می شود اما اتلاف در انبساط ناگهانی بیشتر است،



شکل (۵): تغییر سطح مقطع لوله (انقباض ناگهانی)

وقتی که سطح مقطع مجرا ناگهان کاهش یابد، جریان سیال نمیتواند گوشه های تیز را دنبال کند و در نتیجه تماس سیال با دیواره مجرا قطع میشود و در این حالت یک جت تشکیل میشود که به درون قسمت سیال ساکن در بخش کوچکتر جریان مییابد. این جت ابتدا منقبض شده و سپس منبسط میگردد و کل سطح مقطع کوچکتر را پر میکند و سرانجام در پایین دست جریان توزیع سرعت حالت معمولی خود را باز مییابد.



شکل (۶) : تشکیل گردابه در یک تغییر سطح مقطع

A_2/A_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1
K	0.5	0.46	0.41	0.36	0.30	0.18	0.06	0

جدول (۱) : تغییرات ضریب افت موضعی K برای انقباض ناگهانی

افت انرژی در زانویی ها و خم ها :



شکل (۷) : خم نود درجه با گوشه استاندارد

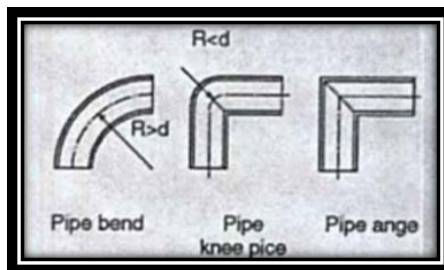
اگر در دو نقطه از مسیر لوله ها که در آنها زانویی یا خم وجود داشته باشد دو پیزومتر نصب شود، شکل (۷) اختلاف ارتفاعی که توسط دو پیزومتر مشخص میشود مربوط به دو عامل است یکی افت انرژی طولی و دیگری افت جزئی. اگر افت انرژی طولی در این دو نقطه Δh_f و افت جزئی Δh_b و اختلاف ارتفاع پیزومترها Δh باشد، رابطه زیر بین دو نقطه برقرار است :

$$\Delta h_b = \Delta h - \Delta h_f$$

در عمل افت انرژی جزئی زانوئی از رابطه کلی زیر بدست می آید :

$$\Delta h_b = K \frac{v^2}{2g}$$

که در آن K ضریب افت و ثابت می باشد و به نسبت شعاع زانوئی (r) و قطر لوله (d) بستگی دارد . در این آزمایش از افت لوله بین زانوها صرفه نظر شده است .



شکل (۷) : شماتیک انواع خم ها در دستگاه افت در اتصالات

r/d	1	1.5	2	3	4
K	0.4	0.32	0.27	0.22	0.2

جدول (۲) : تغییرات k بر حسب r/d خم ها

در ادامه با شکل دو نوع خم دیگر، یعنی خم گردن قویی و خم ۱۳۵ درجه در دستگاه افت در اتصالات آشنا می شوید .



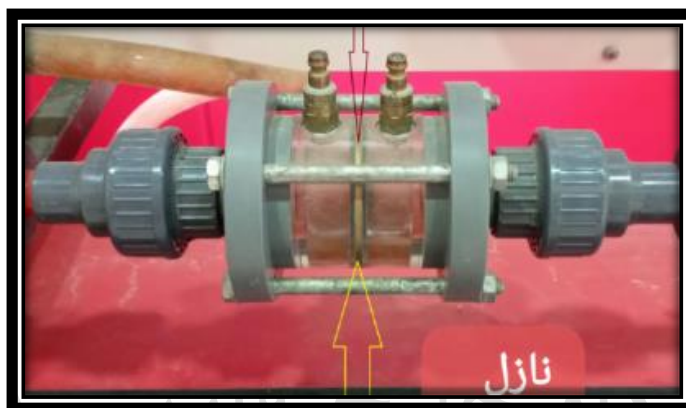
شکل (۹) : زانوئی ۱۳۵ درجه



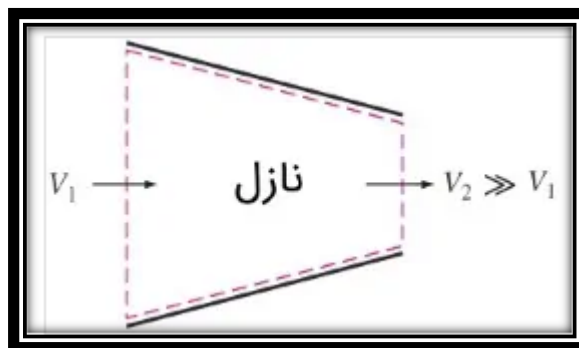
شکل (۸) : زانوئی گردن قویی

نازل :

نازل به لوله‌ای گفته می‌شود که سطح مقطع آن متغیر است و به منظور کنترل نرخ دبی، جرم، شکل و یا فشار جریان استفاده می‌شود. همچنین افزایش سرعت جریان خروجی و کنترل جهت آن به کار می‌رود. در نتیجه این تغییر مومنتم، نیرویی ایجاد می‌شود. این نیرو را می‌توان به راحتی و با قرار دادن دست جلوی مسیر آب خروجی از شیلنگ، آزمایش کرد. نازل (nozzle) وسیله‌ایست که با کاهش فشار سیال، سرعت آن را افزایش می‌دهد.



شکل (۱۰): نازل



شکل (۱۱): شماتیک تغییر سرعت در یک نازل

نرخ انتقال حرارت بین سیال عبوری از داخل نازل و محیط اطراف آن معمولاً بسیار کوچک است ($Q \approx 0$) و در بسیاری از مسائل می‌توان از آن صرف نظر کرد. زیرا سرعت سیال، بسیار زیاد است و فرآیند به قدری سریع اتفاق می‌افتد که

فرصتی برای انتقال حرارت باقی نمی ماند. همچنین، کار انجام شده و تغییر انرژی پتانسیل در نازل نیز برابر صفر است. ولی به دلیل سرعت بالای سیال در عبور از آنها، تغییرات انرژی جنبشی بسیار محسوس است و باید محاسبه شود.

شرح دستگاه :

این دستگاه امکان مطالعه افت فشار در لوله ها، المانهای لوله کشی و وسایل کنترل جریان را می دهد. علاوه بر این ، از روش اختلاف فشار به منظور اندازه گیری نرخ جریان استفاده شده است .

دستگاه مورد آزمایش از شش مسیر عبور جریان تشکیل شده که هر یک برای منظور خاصی در نظر گرفته شده است. این مسیرها شامل : " یک لوله مستقیم (به طول 900 mm و قطر ثابت 16 mm)، سه زانویی مختلف ، یک انبساط در لوله ، یک انقباض در لوله و یک نازل (قابل تعویض با اریفیس) ، برای بررسی افت فشارهای گوناگون می باشد. دستگاه از لوله ها و اتصالات PVC ساخته شده است. در دو طرف دستگاه پانل هایی از مانومترهای آبی ، برای اندازه گیری اختلاف فشار در نظر گرفته شده که بصورت پرتابل به نقاط مختلف تابلوافت وصل می شوند. این دستگاه همچنین دارای یک میز هیدرولیک برای اندازه گیری شدت جریان می باشد.

راه اندازی دستگاه :

قبل از شروع آزمایش دستگاه باید هواگیری شود برای انجام هواگیری کلیه شیرها را باز و پمپ را روشن کنید اجازه دهید برای دقایقی آب درون کل سیستم جریان یابد . بعد از اطمینان یافتن از جریان یافتن آب در مسیر لوله کشی و پرشدن کل مسیر جریان، برای خواندن افت فشار ایجاد در تک تک اجزای مسیر ، قسمتی از مسیر لوله کشی را که قصد دارید افت فشار ایجاد در آن را محاسبه نمایید انتخاب کرده و شیر کنترل مربوطه به خط لوله آنرا باز کنید و شیرهای مسیرهای دیگر را ببندید . مانومترهای مربوط به گیج فشار تفاضلی را با توجه به فشار کمتر و بیشتر به قبل و بعد قسمت مورد آزمایش متصل کنید . (برای اتصال کوئیک کپلینوها به هم ، بایستی قطعه ی میانی قسمت مادگی را به سمت عقب بکشید) به منظور هواگیری از لوله های شفاف، آنها را از ورودی گیج فشار جدا کرده و زمانی که جریان یکنواخت برقرار شد دوباره به گیج فشار متصل کنید. جهت جازدن شیلنگ های پنوماتیکی کافی است شیلنگ را فشار دهید، اما برای بیرون آوردن آن باید ابتدا سر مشکی رنگ شیلنگ را به سمت پایین فشار داده و سپس شیلنگ را بیرون بکشید . گیج فشار تفاضلی را هم سطح قطعه ی مورد نظر گرفته و اختلاف فشار را قرائت کنید. این کار را برای سایر اجزای مسیر تکرار کنید .

نکته: در دبی های کم ، شیر کنترل by pass را نیمه باز گذاشته تا به پمپ فشار وارد نشود با افزایش دبی می توانید به تدریج این شیر کنترل را ببندید .

برای مقایسه ی مقادیر تجربی و تئوری دقت کنید که تغییر واحدهای لازم انجام گیرد .

جدول های نتایج آزمایش :

	V (m ³)	t (s)	Q ($\frac{m^3}{s}$)	h_1 (m)	h_2 (m)	Δ_h (m)	A_1 (m ²)	A_2 (m ²)	$(\frac{m}{s})V_1$	$V_2 (\frac{m}{s})$	K
۱											
۲											

جدول (۳) : داده های قسمت انبساط لوله

	V (m ³)	t (s)	Q ($\frac{m^3}{s}$)	h_1 (m)	h_2 (m)	Δ_h (m)	A_1 (m ²)	A_2 (m ²)	$(\frac{m}{s})V_1$	$V_2 (\frac{m}{s})$	K
۱											
۲											

جدول (۴) : داده های قسمت انقباض لوله

	V (m ³)	t (s)	Q ($\frac{m^3}{s}$)	h_1 (m)	h_2 (m)	Δ_h (m)	A (m ²)	V ($\frac{m}{s}$)	R_e	f	$\frac{\epsilon}{d}$
۱											
۲											

جدول (۵) : داده های قسمت لوله مستقیم

	V (m ³)	t (s)	Q ($\frac{m^3}{s}$)	h_1 (m)	h_2 (m)	Δ_h (m)	A (m ²)	V ($\frac{m}{s}$)	$\frac{r}{d}$	K
۱										
۲										

جدول (۶) : داده های قسمت خم ۹۰ درجه با گوشه استاندارد

	V (m ³)	t (s)	Q ($\frac{m^3}{s}$)	h_1 (m)	h_2 (m)	Δ_h (m)	A (m ²)	V ($\frac{m}{s}$)	$\frac{r}{d}$	K
۱										
۲										

جدول (۷): داده های قسمت خم گردن قویی

	V (m ³)	t (s)	Q ($\frac{m^3}{s}$)	h_1 (m)	h_2 (m)	Δ_h (m)	A (m ²)	V ($\frac{m}{s}$)	K
۱									
۲									

جدول (۸): داده های قسمت خم ۱۳۵ درجه راست گوشه

	V (m ³)	t (s)	Q ($\frac{m^3}{s}$)	h_1 (m)	h_2 (m)	Δ_h (m)	A (m ²)	V ($\frac{m}{s}$)	K
۱									
۲									

جدول (۹): داده های قسمت نازل

ضریب افت فشار تعدادی از اتصالات پایپینگ که از جدول زیر مقدار آن قابل استخراج می باشد :

Fitting	Types	K
۴۵° Elbow	Standard (R/D = 1)	۰٫۳۵
	Long Radius (R/D = 1.5)	۰٫۲
۹۰° Elbow Curved	Standard (R/D = 1)	۰٫۷۵
	Long Radius (R/D = 1.5)	۰٫۴۵
۹۰° Elbow Square or Mitred		۱٫۳
۱۸۰° Bend	Close Return	۱٫۵
Tee, Run Through	Branch Blanked	۰٫۴
Tee, as Elbow	Entering in run	۱
Tee, as Elbow	Entering in branch	۱
Tee, Branching Flow		۱
Coupling		۰٫۰۴
Union		۰٫۰۴

پرسش ها و نمودارها :

۱. به کمک داده های جدول ، تغییرات افت انرژی جزئی زانویی ها Δh_b را بر حسب انرژی جنبشی $\frac{v^2}{2g}$ رسم کنید و سپس به کمک این نمودار مقادیر ضریب افت (k) هر قسمت را بدست بیاورید.
۲. از تغییرات Δh بر حسب $\frac{v^2}{2g}$ برای زانوها چه نتیجه ای میگیرید؟
۳. تغییرات افت انرژی موضعی انبساط و انقباض ناگهانی لوله (Δh_L) را بر حسب انرژی جنبشی سیال جاری $\left(\frac{v^2}{2g}\right)$ رسم نموده و به کمک این دو نمودار مقدار ضریب افت متوسط k را برای هر کدام بدست بیاورید.
۴. آیا افت انرژی در انبساط ناگهانی همیشه از افت انرژی در انقباض ناگهانی بزرگتر است؟
۵. مقدار (f) بدست آمده از رابطه داری را بر حسب عدد رینولدز برای لوله مستقیم رسم نمایید.
۶. طول معادل چیست ؟
۷. به کمک داده های جدول ، تغییرات افت انرژی موضعی را بر حسب انرژی جنبشی برای نازل رسم کنید.

دانشگاه خلیج فارس بوشهر

آزمایش مرکز فشار

(Center of Pressure)

هدف آزمایش :

هدف از این آزمایش ، تعیین مرکز فشار سطح یک جسم، در حالت شناور و مستغرق در یک سیال تراکم ناپذیر ساکن ، و همچنین مقایسه نیروی هیدرواستاتیک تئوری از طرف سیال و نیروی تجربی بدست آمده از طریق دستگاه آزمایش میباشد.

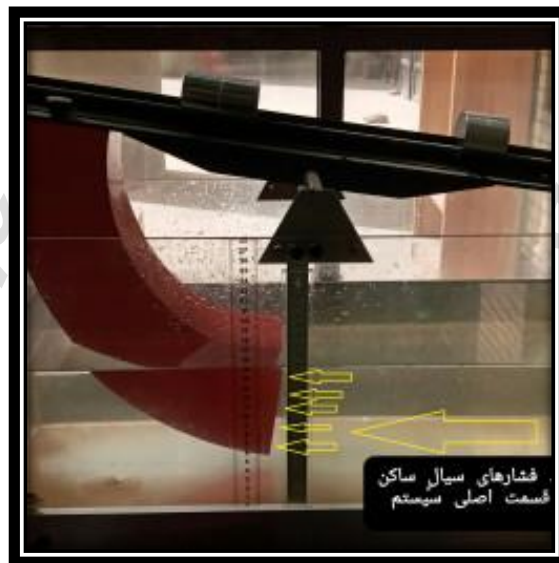


شکل (۱): دستگاه آزمایش مرکز فشار هیدرواستاتیکی

تئوری آزمایش :

به نقطه ای 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 غوطه ور است، میپردازیم.

فشار مایع نسبت به عمق آن به صورت خطی زیاد میشود. نیروی فشاری وارد بر جدار مسطح یک جسم، همگی موازی و هم جهت هستند که میتوان به جای این نیروها، برآیند آنها را که معادل نیروی F میشود، جایگزین نمود.



شکل (۲) : محل اثر برآیند نیروها بر سطح

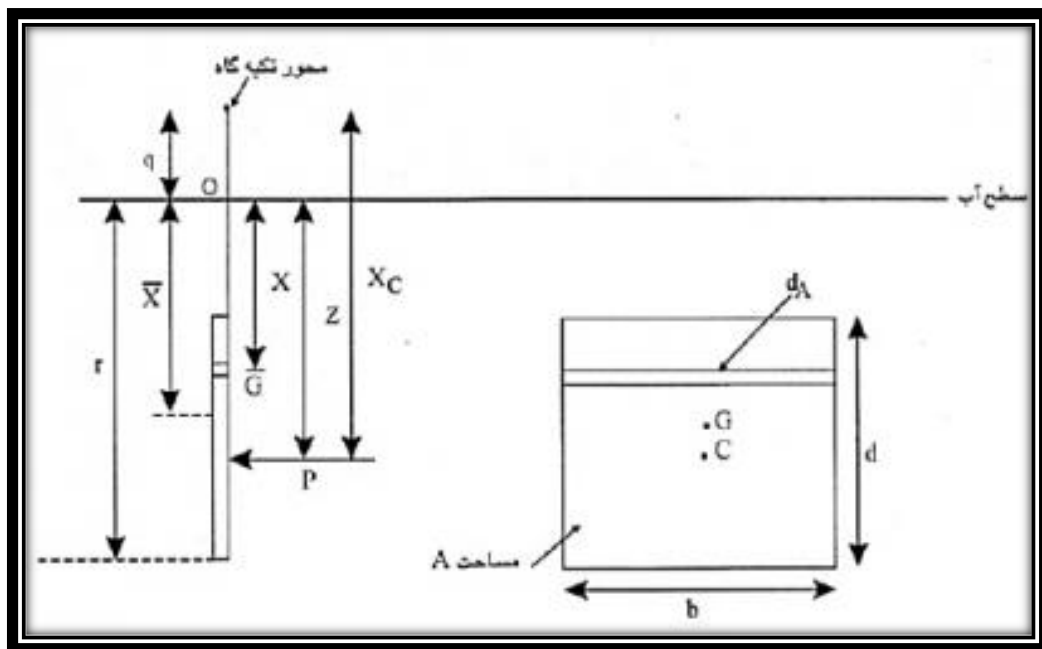
اندازه نیروی کلی فشار سیال برابر حاصلضرب فشار مایع در مرکز ثقل سطح، در مساحت A می باشد.

همان طور که می دانیم، فشار برابر با نسبت نیرو به واحد سطح است اگر جسمی در یک مایع به عمق h غوطه ور شود، فشار سیال با فرمول عمق ثابت بیان خواهد شد :

$$P = \rho gh$$

رابطه ۱

که در آن، ρ چگالی سیال و g شتاب گرانش است .



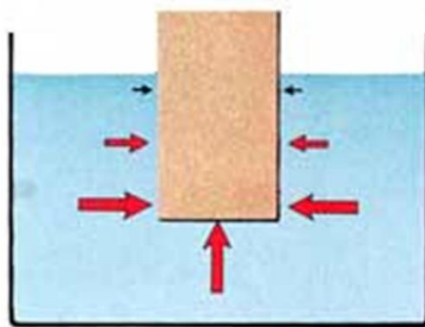
شکل (۳): نیروی هیدرواستاتیک وارد بر سطوح

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

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

رابطه ۲

فشار سیال یک کمیت نرده‌ای است. این کمیت جهت ندارد و بنابراین، یک سیال در همه جهات فشار برابری وارد می‌کند. این قانون به عنوان قانون پاسکال شناخته می‌شود و توسط دانشمند فرانسوی، بلز پاسکال کشف شد.



شکل (۴): نمایی از فشار سیال بر جسم غوطه‌ور

$$P = \frac{F}{A}$$

$$F = P \times A$$

$$F = \gamma h \times A$$

$$F \times Z = \int X dF$$

$$dF = \rho g x dA$$

$$dF = \rho g x^2 dA \quad \text{رابطه ۳} \quad \text{گشتاور نیرو}$$

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:

$$I_{oo} = \int X^2 dA$$

$$F \cdot Z = \rho g I_{oo}$$

$$\rho g \bar{X} A Z = \rho g I_{oo}$$

$$Z = \frac{I_{oo}}{A \bar{X}}$$

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، به علاوه حاصلضرب مساحت سطح در مجذور فاصله مرکز ثقل از محور، یعنی:

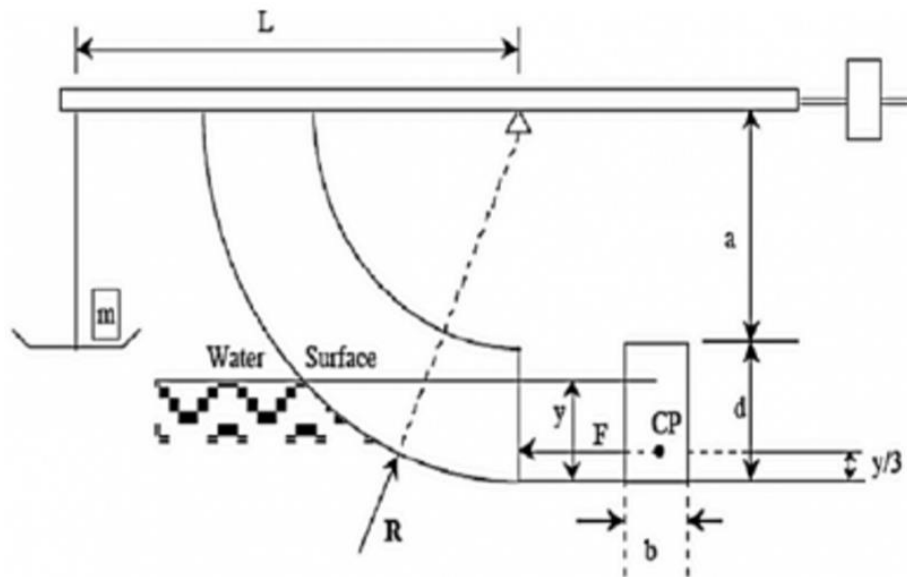
$$I_{oo} = I_{gg} + A \bar{X}^2$$

$$Z = \frac{I_{gg} + A \bar{X}^2}{A \bar{X}}$$

$$Z = \frac{I_{gg}}{A \bar{X}} + \bar{X}$$

الف) حالت نیمه مستغرق :

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



دانشگاه خلیج فارس بوشهر

شکل (۵): حالت نیمه مستغرق

$$A = by \quad \bar{x} = \frac{y}{2} \quad I_{gg} = \frac{by^3}{12} \quad Z = \frac{2y}{3}$$

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

$$F_t = \rho g \bar{x} A = \frac{\rho g b y^2}{2} \quad \text{رابطه ۴}$$

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

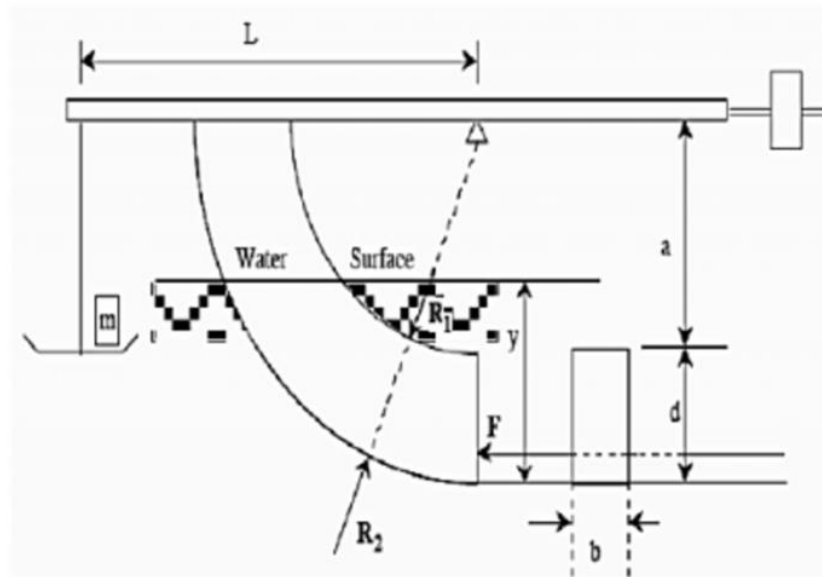
$$mgL = F_e (a + d - y + Z)$$

$$F_e = \frac{mgL}{(a + d - \frac{y}{3})} \quad \text{رابطه ۵}$$

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:



شكل (٦): حالة مستغرق

$$A=b.d \qquad \bar{x} = y - \frac{d}{2} \qquad I_{gg} = \frac{bd^3}{12}$$

$$\mathbf{Z} = \bar{\mathbf{X}} + \frac{\mathbf{I}_{gg}}{A\bar{\mathbf{X}}} = \mathbf{y} - \frac{\mathbf{d}}{2} + \frac{\mathbf{d}^2}{12\bar{\mathbf{x}}}$$

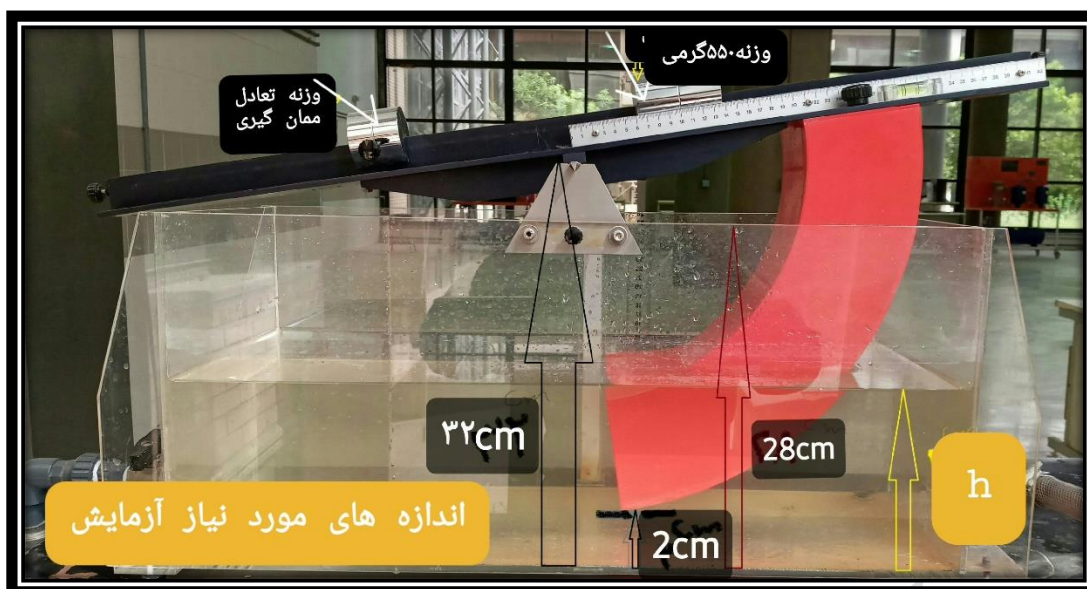
بنابراین نیروی هیدرواستاتیک وارد بر آن برابر است با:

$$F_t = \rho g \bar{X} A = \rho g \left(y - \frac{d}{2} \right) b d$$

در حالت مستغرق برای متعادل نمودن کامل ربع دایره مطابق شکل بالا داریم:

$$F_e = \frac{mgL}{a+d-y+y-\frac{d}{2}+\frac{d^2}{12\bar{x}}} = \frac{mgL}{a+\frac{d}{2}+\frac{d^2}{12\bar{x}}}$$

برای این آزمایش اندازه های مورد نیاز در شکل (۷) داده شده است.



شکل (۷): ابعاد دستگاه مرکز فشار

$$a = 20 \text{ cm}$$

$$b = 10 \text{ cm}$$

$$d = 10 \text{ cm}$$

شرح دستگاه و روش انجام آزمایش :

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. وزنه ایجاد کننده گشتاور را در یک فاصله مناسب از محور گشتاورگیری قرار داده و با افزایش تدریجی آب به داخل مخزن، بازوی بالانس را به شکل افقی در میآوریم. در این حالت ارتفاع سطح آب روی ربع دایره و جرم وزنه و فاصله آن را در جدول یادداشت میکنیم.

با جابجایی وزنه 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 فاصله وزنه تا محور را یادداشت نمایید.

جدول نتایج آزمایش :

	m (gr)	y (cm)	$\bar{X}$ (cm)	Z (cm)	F_e (N)	F_t (N)
۱						
۲						
۳						
۴						

جدول (۱): حالت نیمه مستغرق

	m (gr)	y (cm)	$\bar{X}$ (cm)	Z (cm)	F_e (N)	F_t (N)
۱						
۲						
۳						
۴						

جدول (۲): حالت مستغرق

پرسشها و نمودارها :

۱. در هر دو حالت (مستغرق و نیمه مستغرق) فاصله مرکز فشار تا سطح آزاد مایع، مقدار F_t و F_e را محاسبه و جدول ها را کامل نمایید.
۲. براساس مقادیر به دست آمده در حالت نیمه مستغرق، نمودار تغییرات m تقسیم بر y^2 را نسبت به y رسم کنید، شیب و عرض از مبدا آنرا بدست آورده و با مقادیر تئوری آن مقایسه و بحث کنید.
۳. جهت تعادل جسم معلق در هر حالت ، مرکز فشار نسبت به مرکز ثقل بایستی در چه وضعیتی باشد؟
۴. دانستن مرکز فشار در چه مواقعی مهم است و اهمیت آن چیست ؟
۵. چرا جسم معلق در دستگاه مرکز فشار بصورت یک چهارم دایره است ؟
۶. چرا در محاسبه گشتاور نیروهای وارد از طرف مایع بر جسم معلق حول نقطه O ، فقط نیروهای وارد بر سطح چهارگوش $(10\text{cm} \times 10\text{cm})$ در نظر گرفته میشود ؟

دانشگاه خلیج فارس بوشهر

دانشگاه خلیج فارس بوشهر