

بسمه تعالی

گزارش کار آزمایشگاه مکانیک سیالات

shimiomd.blog.ir

- 3..... ✓ نیروی جت آب
- 10..... ✓ جریان در سرریزها
- 20..... ✓ ضربه قوچ
- 33..... ✓ افت فشار در سیستم لوله کشی
- 41..... ✓ افت انرژی در لوله ها
- 44..... ✓ تخلیه آب از روزنه
- 50..... ✓ دبی سنج (وتتوری و اریفیس)
- 59..... ✓ مشاهده جریان (آزمایش رینولدز)
- 62..... ✓ فشارسنج بوردون
- 68..... ✓ مطالعه نیروهای هیدرواستاتیک

نیروی جت آب

تئوری آزمایش:

جت آب که به معنای جریان سریع آب می‌باشد برای ایجاد کارمکانیکی بکار می‌رود. از جمله موارد کاربرد این پدیده، استفاده از انرژی سیال تحت فشار برای تولید انرژی مکانیکی و الکتریکی است که به عنوان مثال می‌توان به کاربرد آن در توربین‌های آبی (سدها) و توربین‌های بخار (نیروگاه‌های حرارتی) اشاره نمود. در این پدیده برخورد جریان سریع آب با تیغه‌های توربین سبب تغییر در اندازه حرکت جریان آب شده و نیروی حاصل از این تغییر اندازه حرکت باعث چرخش توربین و کار محوری در توربین می‌گردد که در ژنراتورها به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. در حال حاضر از توربین‌هایی با بازده 90٪ در نیروگاه‌های آبی استفاده می‌شود.

هرگاه آب با دبی جرمی (\dot{m}) که بر حسب kg/s و با سرعت u که بر حسب m/s بیان می‌شود به یک تیغه برخورد کرده و به اندازه β تغییر جهت دهد. دبی جرمی از حاصلضرب دبی حجمی در جرم مخصوص سیال بدست می‌آید ($\dot{m} = Q\rho$). با توجه به قوانین مکانیک می‌توان گفت اندازه حرکت ورودی در جهت y برابر است با $uQ\rho$. همچنین مقدار اندازه حرکت خروجی پس از برخورد با پره برابر است با $\cos\beta \cdot uQ\rho$. لذا با داشتن مقدار مقادیر و جهت جریان‌های ورودی و خروجی می‌توان تغییرات اندازه حرکت سیال و از آنجا مقدار نیروی وارد بر پره را بدست آورد.

در صورتی که تیغه مورد استفاده یک تیغه تخت باشد که بر جهت حرکت سیال عمود است در نتیجه $90 = \beta$ و در نتیجه $\cos 90 = 0$ پس برای پخش و مستهلک نمودن انرژی از مانع تخت در برابر جریان استفاده می‌شود. همچنین از این موانع برای جریان‌های با دبی زیاد به دلیل فرسایش بالا و ضریب بازدهی کم استفاده می‌شود.

در حالتی که برخورد سیال با سطح کروی صورت گیرد $\beta = 180$ و در نتیجه $\cos 180 = -1$ بیشترین مقدار ممکن تغییر در اندازه حرکت که بیشترین اعمال نیرو بر پره را در بردارد را خواهیم داشت.

پس از اعمال عملیات برداری بر روی روابط فوق مقدار نیروی وارد شده بر تیغه به صورت زیر در می آید:

- برای تیغه صاف $F_y = um$

- برای تیغه نیمکره‌ای $F_y = 2um$

در این آزمایش به بررسی عملکرد تیغه‌های تخت و کروی در مهار جریان آب و تبدیل انرژی آنها می‌پردازیم.

روش آزمایش

ابتدا صفحه صاف را بر روی محل مربوطه روی اهرم متصل می‌کنیم، دستگاه را تراز می‌کنیم. سپس وزنه متحرک را روی عدد صفر قرار داده و اهرم را مجدداً تراز می‌کنیم. حال وزنه را روی اهرم جابه‌جا می‌کنیم و سپس با روشن کردن پمپ و باز کردن شیر خروجی پمپ جریان آب خروجی از جت را به نحوی تغییر می‌دهیم تا اهرم به حالت تعادل اولیه برسد و در این حالت دبی آب خروجی از جت را اندازه‌گیری می‌کنیم. این کار را برای فواصل مختلف از صفر تکرار می‌کنیم.

حال صفحه تخت را با صفحه نیمکره تعویض می‌کنیم و آزمایش را با همان اعداد تکرار می‌کنیم.



تحلیل داده ها

چرا برای پره نیمکره را بطنه نیرو معادل $F_y = 2um$ و برا صفحه تخت معادل $F_y = um$ می باشد؟

در صورتی که تیغه مورد استفاده یک تیغه تخت باشد که بر جهت حرکت سیال عمود است در نتیجه $\beta = 90$ و در نتیجه $\cos 90 = 0$ از طرفی در حالتی که برخورد سیال با سطح کروی صورت گیرد $\beta = 180$ و در نتیجه $\cos 90 = -1$ بیشترین مقدار ممکن تغییر در اندازه حرکت که بیشترین اعمال نیرو بر پره را در بردارد را خواهیم داشت لذا خواهیم داشت:

$$F = \Delta P / \Delta t \rightarrow F_y = \dot{m}u - \cos 90 \dot{m}u = \dot{m}u \text{ (برای صفحه تخت)}$$

$$F_y = \dot{m}u - \cos 180 \dot{m}u = 2\dot{m}u \text{ (برای صفحه نیمکره)}$$

1- سرعت خروجی از دهانه فواره با سرعت برخورد با صفحه کمی اختلاف دارد؟ رابطه مابین این دو سرعت را بدست آورده و با ترسیم جدولی سرعت برخورد برای هر یک از حالت های آزمایش محاسبه کنید.

اگر از تغییرات فشار صرف نظر کنیم با توجه به معادله انرژی خواهیم داشت:

$$\frac{1}{2} \dot{m}(u_2^2 - u_1^2) = \dot{m}gh \rightarrow u_2^2 - u_1^2 = 2gh \rightarrow u_2 = \sqrt{u_1^2 + 2gh}$$

$$u = Q/A \quad \& \quad A = 78.5 * 10^{-6} \text{ m}^2$$

برای نیم کره:

X(mm)	t(s)	V(m ³)	Q(m ³ /s)*10 ⁴	u ₁ (m/s)	u ₂ (m/s)
0	41	0.005	1.21	1.54	1.30
30	18.7	0.005	2.18	2.78	2.65
50	17.9	0.005	2.79	3.55	3.46
90	12	0.005	4.1	5.3	5.21

برای صفحه تخت:

X(mm)	t(s)	V(m ³)	Q(m ³ /s)*10 ⁴	u ₁ (m/s)	u ₂ (m/s)
30	17	0.005	2.38	3.03	2.92
44	13	0.005	3.85	4.90	4.83
6	12	0.005	4.16	5.30	5.23
6.5	10.5	0.005	4.76	6.06	6.00

3- مقدار نیروی وارده عملی ($F_{act} = \frac{M.g.(x+L)}{L}$) و تئوری را برای هر دو صفحه رسم کنید.

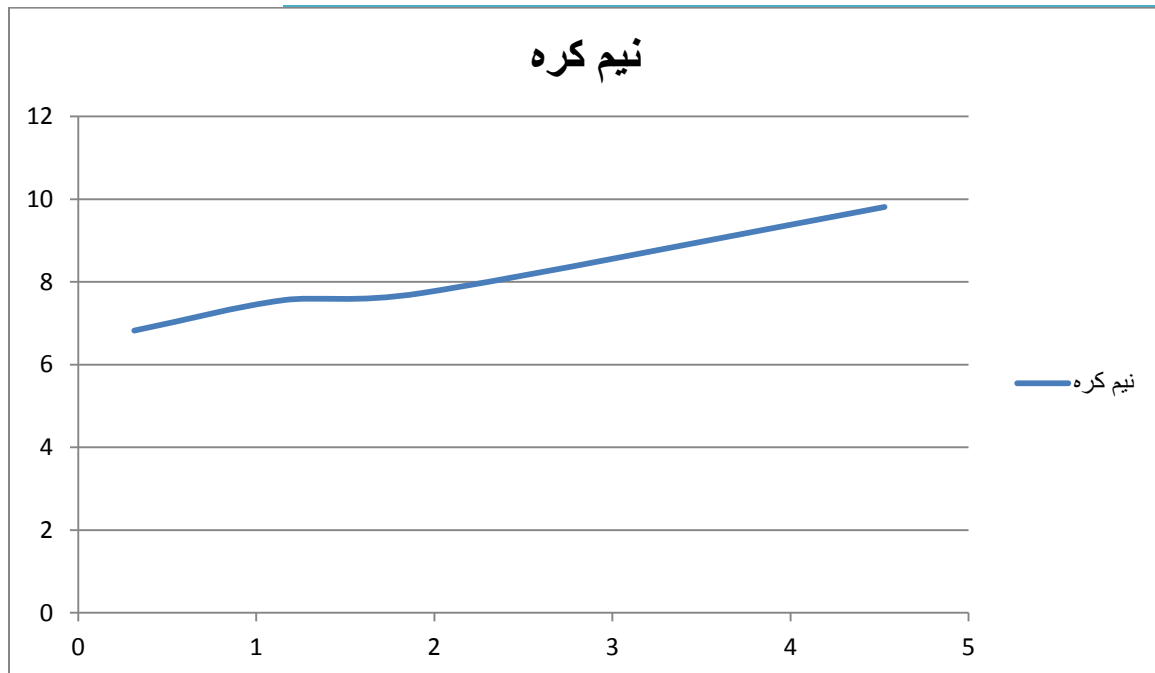
$$\dot{m} = Q * \rho \rightarrow \dot{m} = 1000Q$$

برای صفحه تخت:

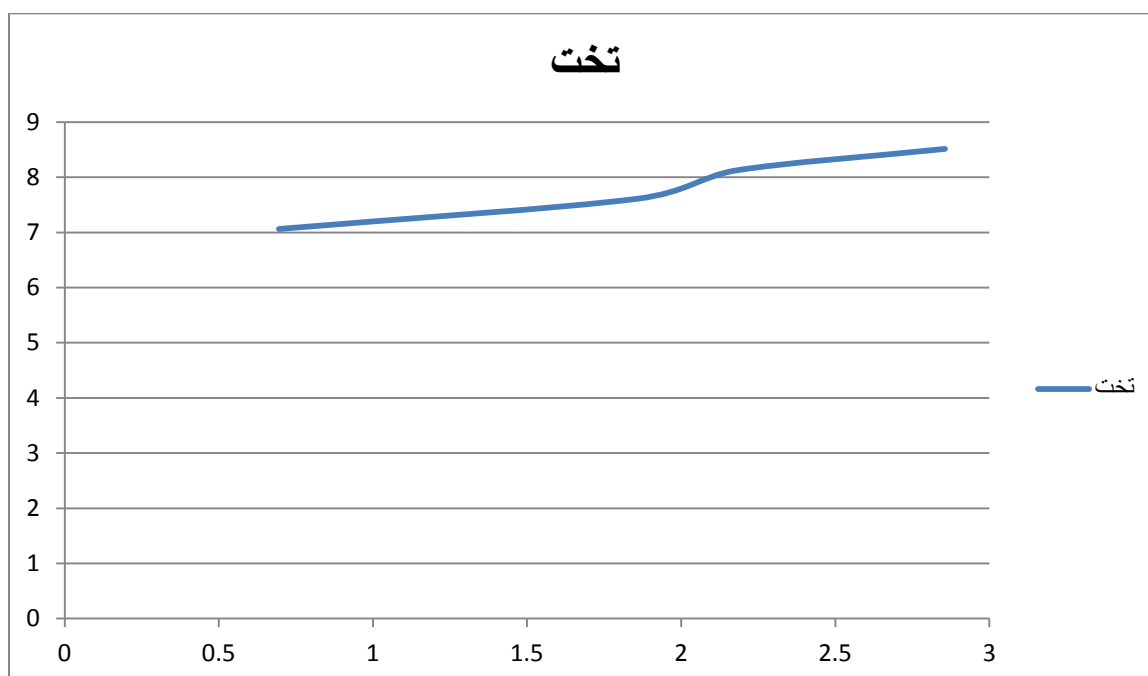
\dot{m} (kg)	U(m/s)	F(N)	X(mm)	F _{act}
0.238	2.92	0.6949	30	7.0632
0.385	4.83	1.8595	44	7.6126
0.416	5.23	2.1757	60	8.1227
0.476	6.00	2.856	6.5	8.5151

برای صفحه نیم کره:

\dot{m} (kg)	U(m/s)	F(N)	X(mm)	F_{act}
0.121	1.30	0.3146	5	6.822
0.218	2.65	1.1554	30	7.5594
0.279	3.46	1.9307	50	7.7303
0.424	5.34	4.5282	90	9.81



برای صفحه تخت:



4- بر اساس شیب خطوط مقدار بازده هر یک از پره‌ها را بدست آوردید.

باتوجه به اینکه شیب نمودار برای سطح نیمکره بیشتر است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت نیروی وارد بر صفحه‌ی نیمکره در دبی‌های یکسان بیشتر از سطح تخت می‌باشد، پس بازده سطح نیمکره بیشتر است که به این مطلب در تئوری آزمایش نیز اشاره شده است.

5- بازده کدامیک از پره‌ها بیشتر است؟ دلیل آنرا توضیح دهید.

بازده صفحه نیمکره‌ای بیشتر است زیرا مقدار نیروی مهار شده توسط آن برای سرعت‌های برابر دو برابر صفحه تخت می‌باشد. به بیان دیگر یعنی دردی‌های یکسان نیرویی معادل 2 برابر بر سطح نیمکره وارد می‌شود.

جریان در سرریزها

هدف آزمایش:

بررسی سرریزهای مثلثی، مستطیلی و ذوزنقه‌ای و بدست آوردن ضرایب تخلیه C دوتا از آنها.

مقدمه:

هرسازه طبیعی یا ساخته شده دست بشر که در مسیر جریان قرار گیرد و روابط دبی و عمق جریان را در اطراف خود تثبیت نماید، یک سازه کنترل جریان نامیده می شود. سازه های مختلف با توجه به شرایط فیزیکی خاص، روابط متفاوتی را بین دبی و عمق جریان ایجاد کرده اند. لذا هر کدام برای اهداف معینی مورد استفاده قرار می گیرند.

تعریف: سرریزهای لبه تیز (Sharp Crested Weirs)

این نوع سرریزها عموماً از یک صفحه قائم کار گذاشته شده در مسیر جریان تشکیل شده که دارای لبه وتاجی نسبتاً تیز در بالا (محلی که آب از روی آن عبور می کند) می باشد. سرریزهای لبه تیز علاوه بر اینکه به عنوان یک وسیله اندازه گیری دبی در کانال باز، مورد استفاده قرار می گیرند، به عنوان یک سرریز که باعث افزایش ارتفاع و حجم آب در بالادست شده و آب از روی آن می گذرد (Over Flow Spillway) نیز بکار می روند.

تئوری آزمایش:

جریان آب از روی سرریزهای لبه تیز بگونه‌ای است که حتی مقدار کم جریان باعث پرتاب آب از روی آن شده و در این حالت قسمت پایین دست بدنه سرریز نمایان خواهد بود در این شرایط مقداری هوا در زیر حجم جریان وجود دارد که به صورت مداوم و همراه جریان آب حرکت می نماید. در عمل لازم است تا طراحی سرریز لبه تیز طوری صورت گیرد که فشار هوای مزبور ثابت نگه داشته شده و لذا جریان دارای خصوصیات جابجایی نامطلوب نگردد. در ادامه به برخی از انواع سرریزها اشاره می کنیم:

سرریز مستطیلی:

با توجه به شکلی که پارامترها روی آن مشخص شده روابط دبی تئوری و واقعی برای این سرریز به دست می آید:

با نوشتن معادله انرژی داریم:

$$\frac{V_1^2}{2} + gh = \frac{V_2^2}{2} + g(h - y)$$

از معادلات پیوستگی نتیجه می گیریم که سرعت V_1 که سرعت نزدیک شدن نامیده می شود بسیار کوچک تر از V_2 است و می توانیم از جمله $V_1^2/2$ در مقایسه با $V_2^2/2$ صرف نظر کنیم. بنابراین:

$$V_2 = \sqrt{2gy}$$

برای به دست آوردن $Q_{\text{theoretical}}$ (کل دبی جریان) روی سطح ناپ انتگرال می گیریم لذا داریم:

$$Q_{\text{theoretical}} = \int_0^h (L_w dy) V_2 = \int_0^h L_w \sqrt{2gy} dy = \frac{2}{3} L_w \sqrt{2gh^3}$$

$$Q_{\text{act}} = \frac{2}{3} C_d L_w \sqrt{2gh^3}$$

$$C_d = \frac{Q_{\text{act}}}{Q_{\text{teori}}}$$

ضریب تصحیح سرریز

1- سرریز مثلثی:

با توجه به شکلی که پارامترها روی آن مشخص شده روابط دبی تئوری و واقعی برای این سرریز به دست می آید:

$$Q_{\text{theoretical}} = \int v dA = \int_0^H v x dy$$

رابطه تشابه مثلث ها رانوشته، x را بر حسب y به دست می آوریم:

$$\frac{x}{H-y} = \frac{L_w}{H}$$

از طرفی سرعت در عمق y برابر $V = \sqrt{2gy}$ است. با جایگذاری x, y در انتگرال خواهیم داشت:

$$Q_t = \sqrt{2g} \frac{L_w}{H} \int_0^H y^{\frac{1}{2}} (H - y) dy = \frac{4}{15} \sqrt{2g} \frac{L_w}{H} H^{\frac{5}{2}}$$

$$Q_{act} = \frac{4}{15} C_d \sqrt{2g} L H^{\frac{3}{2}}$$

1- سرریز دوزنقه‌ای:

این نوع سرریز دارای مقطع کنترل دوزنقه‌ای شکل است که دارای تاج افقی و کناره‌های باشیب 14 می‌باشد. اگرچه دقت اندازه‌گیری دبی در این سرریز به اندازه سرریزهای مثلثی و مستطیلی نمی‌باشد، اما از آنجا که می‌تواند در کانال‌های غیرمستطیلی نیز بکار رود، مورد استفاده فراوان دارد. این سرریز ترکیبی از دو سرریز مستطیلی و مثلثی می‌باشد لذا Q_t به صورت زیر است:

$$Q_t = \frac{4}{15} \sqrt{2g} \frac{L_w}{H} H^{\frac{5}{2}} + \frac{2}{3} L_w \sqrt{2gh^3}$$

شرح دستگاه:

دستگاه شامل یک کانال کوچک می‌باشد که از یک طرف آب توسط پمپ به کانال تزریق می‌شود و از طرف دیگر یک سرریز در آن نصب شده است. میزان شدت جریان توسط شیر C کنترل می‌شود. جریان خروجی از سرریز در مخزن اندازه‌گیری دبی حجمی جمع آوری می‌شود و دوباره در یک چرخه به کانال وارد می‌شود.

روش آزمایش:

پمپ را روشن کرده و شیر را بازمی‌کنیم، توسط شیر C آب را طوری تنظیم می‌کنیم که در یک ارتفاع ثابت بماند سپس ارتفاع را یادداشت می‌کنیم و توسط مخزن دبی حجمی و زمان سنج دبی حجمی را به دست می‌آوریم. برای هر دو سرریز مستطیلی و مثلثی این عملیات را انجام می‌دهیم.

نتایج عملی برای سرریز مثلثی

$$L_w = 2. \tan 15 \times h$$

تحلیل داده ها

برای سر ریز مثلثی:

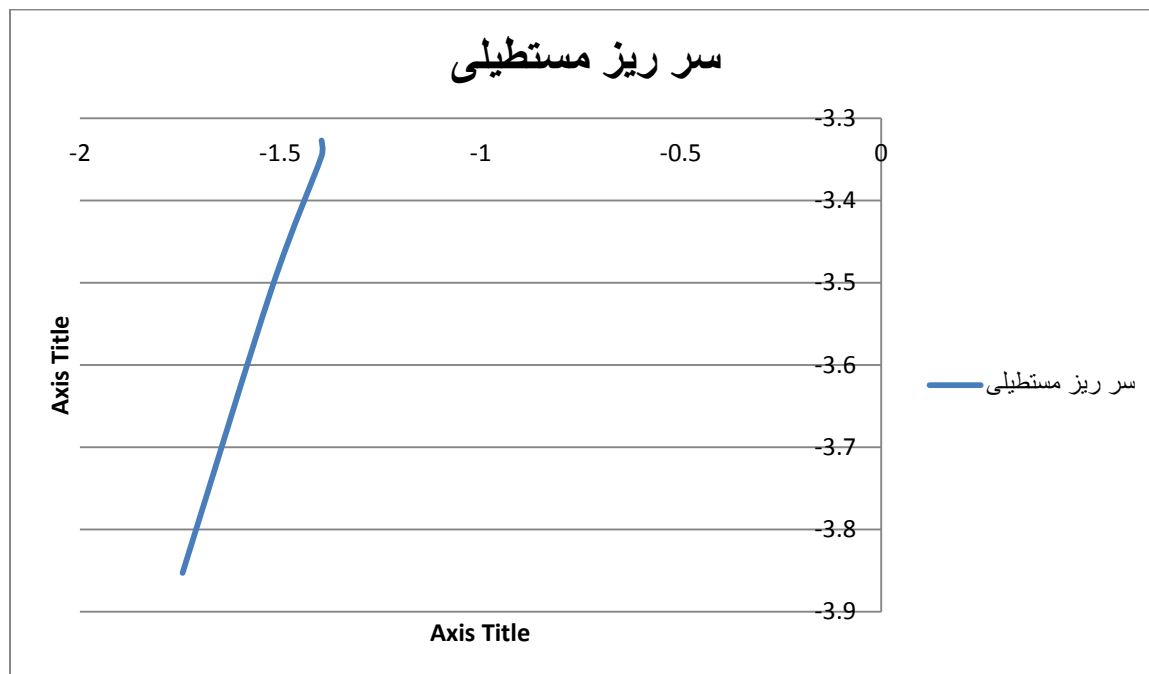
مرحله	H(m)	زمان S	Q _{act}	Q _{the}	L _w	V(m ³)
1	0.04	27	0.000185	0.00040	0.0214	0.005
2	0.05	16	0.000312	0.000356	0.0267	0.005
3	0.054	12	0.000416	0.000432	0.0289	0.005
4	0.06	10	0.000500	0.000650	0.0321	0.005
5	0.065	9	0.000555	0.000687	0.0348	0.005

برای سر ریز مستطیلی:

مرحله	H(m)	زمان S	Q _{act}	Q _{the}	L _w	V
1	0.018	35	0.00014	0.0002448	0.034	0.005
2	0.03	16	0.00031	0.000526	0.034	0.005
3	0.04	11	0.00045	0.0008100	0.034	0.005
4	0.04	10.5	0.00047	0.0008109	0.034	0.005

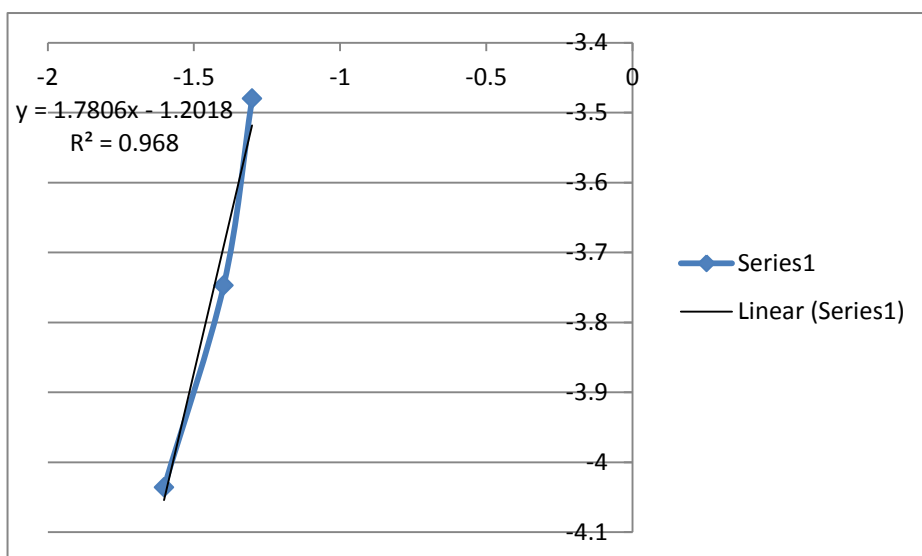
1- بارسم $\log Q$ در مقابل $\log h$ مقادیر k و n را برای هر دو سریز به دست آورید. (بهترین خط گذرنده) درصد انحراف چقدر است؟

برای سریز مستطیلی:



$$n = 1.391 , \quad \log K = -1.387 \rightarrow K = 0.041$$

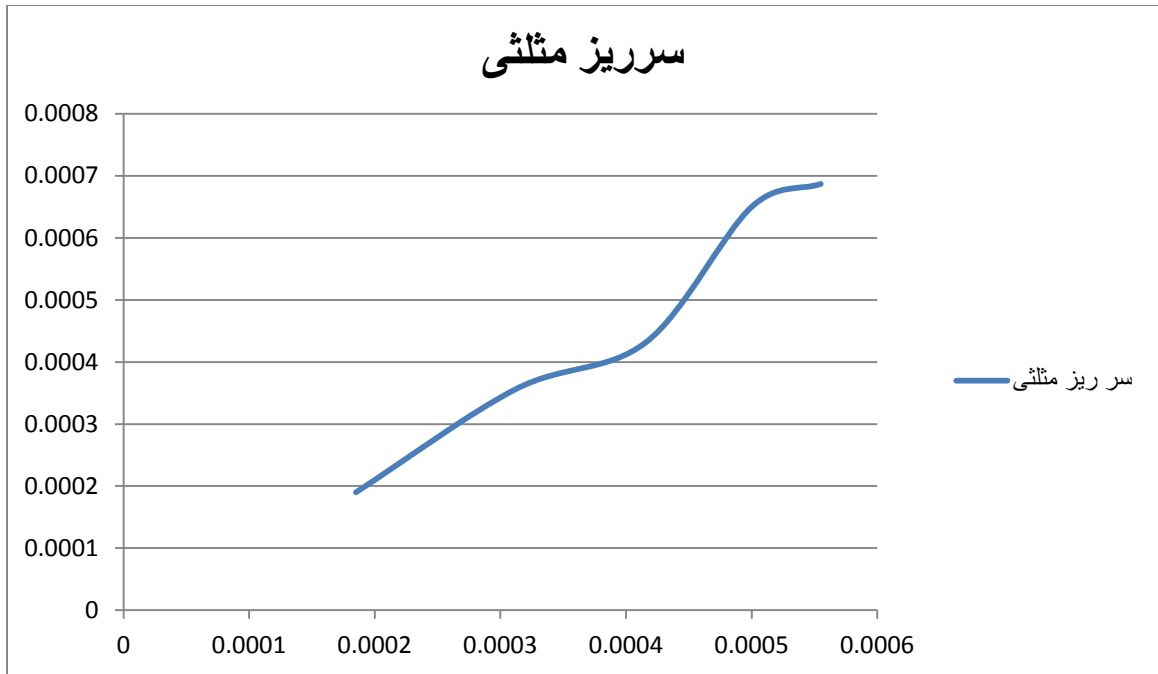
برای سرریز مثلثی:



$$n = 1.780, \quad \log K = -1.201 \rightarrow K = 0.063$$

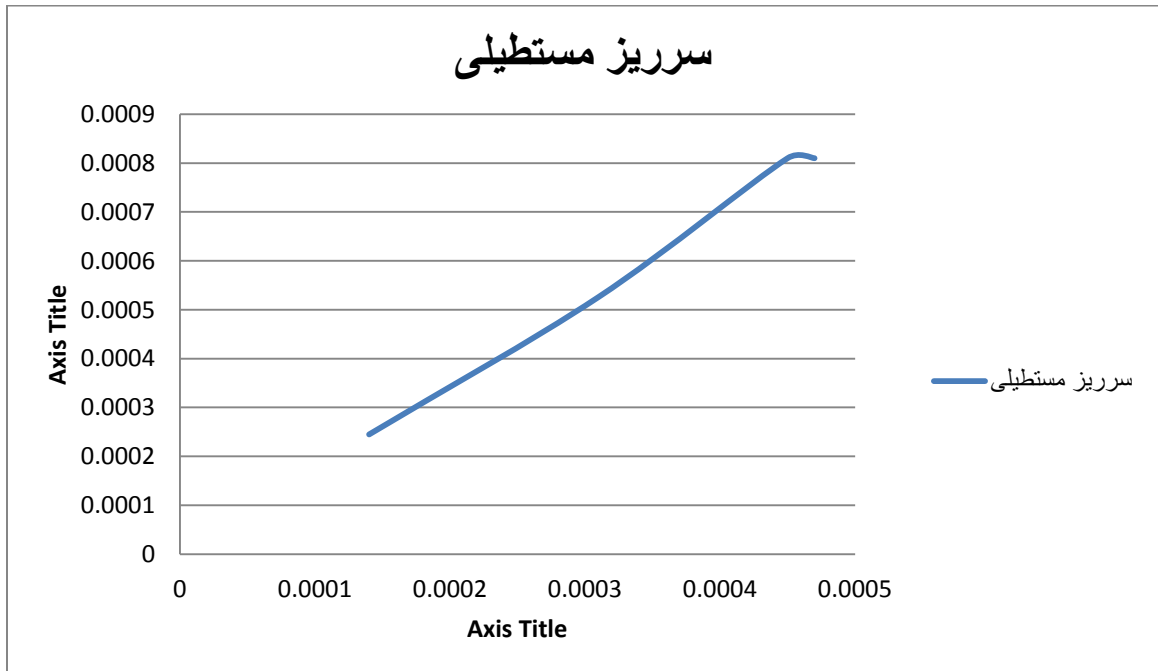
2- مقادیر C_d را برای هریک از سرریزها بدست آورید. (بارسم دبی واقعی در مقابل دبی تئوری)

سرریز مثلثی:



$$C_d = 0.824$$

سرریز مستطیلی:



$$C_d = 0.541$$

3- مقادیر k, n را با مقادیر تئوری آنها مقایسه کنید. دلیل اختلاف چیست؟

دلیل اختلاف در این است که در حالت واقعی آب پس از ناپ انقباض می‌یابد ولی ما در حالت تئوری روابط را بدون در نظر گرفتن این حالت به دست آوردیم.

4- رابطه h, Q را برای سرریز مثلثی به صورت تحلیل تئوری به دست آورید.

$$Q_{theoretical} = \int v dA = \int_0^H v x dy$$

رابطه تشابه مثلث‌ها را نوشته، x را بر حسب y به دست می‌آوریم:

$$\frac{x}{H-y} = \frac{L_w}{H}$$

از طرفی سرعت در عمق y برابر $V = \sqrt{2gy}$ است. با جایگذاری x, y در انتگرال خواهیم داشت:

$$Q_t = \sqrt{2g} \frac{L_w}{H} \int_0^H y^{\frac{1}{2}} (H-y) dy = \frac{4}{15} \sqrt{2g} \frac{L_w}{H} H^{\frac{5}{2}}$$

$$Q_{act} = \frac{4}{15} C_d \sqrt{2g} L H^{\frac{3}{2}}$$

5- هر کدام از سرریزها برای چه حالتی مناسب می باشد؟ چرا؟

سرریزهای مستطیلی که در آن سرریز کاملاً در عرض کانال گسترده شده است دارای انقباض انتهایی خواهد بود و برای دبی های بیشتر سرریزهای مستطیلی مورد استفاده قرار می گیرد. در رودخانه ها، جهت اندازه گیری دبی جریان برای پرهیز از مخارج زیاد و در عین حال تهیه گزارشات روزانه، بخش های کنترلی در نظر گرفته می شود که جریان در آن قسمت پایدار باشد. به عبارت دیگر تغییرات کف و جوانب جریان کم باشد. بخش کنترلی را غالباً در شکستگی شیار رودخانه که جریان کندتر می شود در نظر می گیرند، به همین جهت از سرریز مثلثی استفاده می گردد.

ضربه قوچ

تئوری آزمایش:

وقتی که یک سیال درون یک مسیر بسته در حال جریان باشد و کند شدن و یا تسریع سرعت جریان به وجود آید پدیده ضربه قوچ مشاهده خواهد شد. نظیر مواقعی که در مسیر لوله شیری قرار گرفته باشد و به وسیله آن تغییری در سطح خروجی جریان ایجاد می شود. اگر این تغییرات تدریجی باشد می توان محاسبات را با توجه به اینکه مایع تراکم ناپذیر و جداره های مسیر عبور سخت هستند. به روش مشابه با تموج انجام داد. وقتی یک شیر را در مسیر خط لوله و جریان به سرعت می بندیم جریان درون شیر کاسته می شود. این عمل افزایش هد در سمت ورودی شیر را به دنبال خواهد داشت و ضربه ای ناشی از فشار زیاد را ایجاد می کند که در بالا دست جریان با سرعت موج صوتی تقویت می شود. نتیجه این ضربه فشاری کاهش سرعت جریان می باشد. در سمت دیگر شیر فشار کاهش خواهد یافت و موج فشار کاسته شده با سرعت موج به طرف پایین دست جریان حرکت می کند که این نیز کاهش سرعت را به همراه دارد. اگر سرعت بسته شدن به اندازه کافی سریع و و فشار حالت پایدار به مقدار کافی کم باشد حبابهائی از بخار در سمت پایین دست شیر شکل می گیرد و به این ترتیب خلاء حاصله در نهایت از میان خواهد رفت و موج ناشی از فشار زیاد ایجاد می شود.

قبل از بدست آوردن معادلات لازم جمریوط به ضربه قوچ وقایع و حوادث متوالی که پس از بسته شدن ناگهانی شیر در پائین دست جریان درون لوله که جریان آن از یک مخزن تامین می گردد به وقوع می پیوندد را بررسی میکنیم.

در این حالت از اصطکاک صرفه نظر می کنیم. فرض کنیم که شیر در لحظه بسته شدن در زمان صفر و سیال مجاور شیر متراکم و متوقف می شود. در نتیجه جداره های لوله کشیده می شوند. به محض اینکه اولین لایه متراکم شود.

همین فرآیند برای لایه بعدی صورت خواهد گرفت سیال در بالا دست شیر به حرکت خود به طرف پایین دست جریان با سرعتی که کم نشده است ادامه می دهد تا اینکه لایه ها یکی پس از دیگری متراکم شوند و این عمل تا منبع تامین جریان ادامه می یابد. فشار ایجاد شده به صورت موج به بالا دست جریان منتقل می شود و سیال در حال جریان را متوقف و متراکم می سازد و سبب انبساط لوله می شود. وقتی که موج حاصله به بالادست جریان در لوله می رسد تمام سیال تحت هد اضافی قرار می گیرد و تمامی اندازه حرکت از میان می رود و در نتیجه انرژی جنبشی کلا به انرژی کشسانی تبدیل می شود.

در بالادست جریان در لحظه رسیدن موج فشاری شرایط نامتوازنی ایجاد می شود زیرا فشار مخزن تغییر نکرده است. در این صورت سیال شروع به برگشتن به طرف عقب می کند. جریان معکوس حاصله سبب می شود فشار به وضعیتی مشابه قبل از بسته شدن شیر برگردد و در عین حال جداره های لوله به وضعیت عادی برخواهد گشت و سیال دارای سرعتی برابر سرعت اولیه که صفر می باشد در جهت عکس می شود. این فرآیند تبدیل با سرعت صوت در لوله منتقل می شود و به پایین دست جریان می رسد. فشار در طول لوله به حد طبیعی و سرعت در همه جا برابر سرعت صفر در جهت مخاف می باشد.

چون شیر بسته است سیالی از لوله خارج می شود تا جریانی در شیر ایجاد شود و فشار کم خواهد شد. مانند اینکه جریان متوقف شده باشد. این موج ناشی از فشار کم با سرعت به سمت بالادست جریان حرکت می کند و در همه جا باعث سکون جریان می شود. در نتیجه باعث می شود به دلیل فشار کمتر سیال منبسط شود و جداره های لوله منقبض شوند (اگر فشار استاتیک در لوله به اندازه کافی بالا نباشد تا هد بالاتر از فشار بخار باقی بماند مایع در آن قسمت تبخیر خواهد شد و به حرکت خود به سمت عقب درمدت زمانی طولانی ادامه خواهد داد).

در لحظه ای که موج فشار منفی به بالادست جریان می رسد سیال در حال سکون است ولی دارای هد یکنواخت می باشد. این پدیده سبب ایجاد شرایط نامتوازن در مخزن خواهد شد و سیال در درون لوله با سرعت صفر به سمت جلو جاری می شود. در نتیجه همزمان با انتشار موج به طرف پایین دست جریان با سرعت لوله و جریان سیال به شرایط عادی بر می گردند. در زمانی که موج به شیر می رسد شرایط دقیقاً همانند زمان بسته شدن شیر است.

اولین محاسبات مربوط به ازدیاد ناشی از ضربه قوچ توسط ژوکوفسکی انجام گرفت. رابطه ی بدست آمده توسط او به صورت زیر است:

$$\Delta P = \rho \alpha \Delta V \quad , \quad \alpha = \sqrt{\frac{K}{\rho_0}}$$

که در آن :

ازدیاد فشار ناشی از ΔV : تغییر سرعت سیال در لوله
 ΔP ضربه قوچ

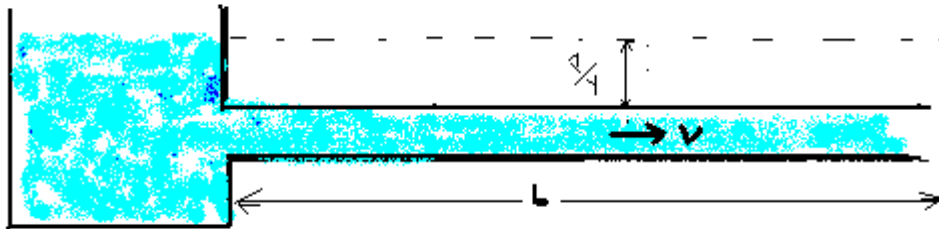
جریان سیاله ای را در یک لوله مطابق شکل 1 در نظر می گیریم. ابتدا شیر تعبیه شده در انتهای لوله را نیمه باز فرض می کنیم (شکل الف-1). بنابراین یک سرعت و فشار اولیهای در آن وجود دارد که با v و p مشخص شده اند.

فرض می کنیم که در لحظه ی $t=0$ بطور ناگهانی شیر انتهای لوله بسته می شود که در آن صورت موجی ایجاد میشود که با سرعت صوت بطرف منبع حرکت می کند. تمامی آب قرار گرفته بین موج در حال حرکت و انتهای لوله سمت مخزن با سرعت اولیه ی v را دارند. در حالیکه آب موجود بین موج و شیر آب در حال سکون است. این وضعیت در شکل (ب-1) نشان داده شده است.

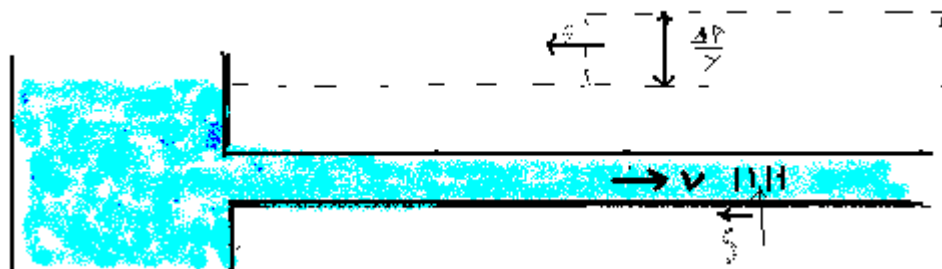
وقتی که موج فشار (پس از زمان $t=1/2$) به انتهای لوله می رسد، ملاحظه می شود که تمام آب موجود در لوله تحت فشار معادل $p + \Delta p$ قرار گرفته است و این در حالت است که فشار در منبع p است.

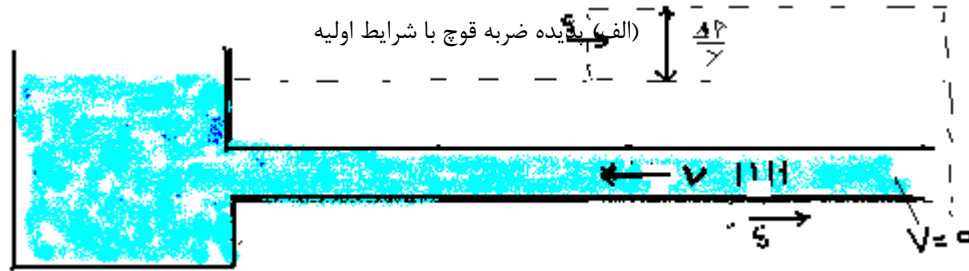
این عدم تعادل فشار بین مخزن و لوله باعث میشود که آب با سرعت v بداخل مخزن جاری شود. این حرکت باعث ایجاد موج جدیدی می گردد که مجدداً به سمت شیر حرکت می نماید. این پدیده را میتوان

در شکل (ج-1) ملاحظه کرد. زمانی که این موج نهایتاً به شیر می رسد تمامی آب موجود در لوله با سرعت v در حال حرکت به سمت مخزن است. البته این وضعیت لحظه ای است زیرا که شیر بسته است و خروج آب از آن ممکن نیست. سپس در زمان t بین $2l/s$ و $3l/s$ موج فشاری با تراکم کمتر مطابق آنچه در شکل (د-1) دیده می شود، به سمت منبع حرکت می کند.

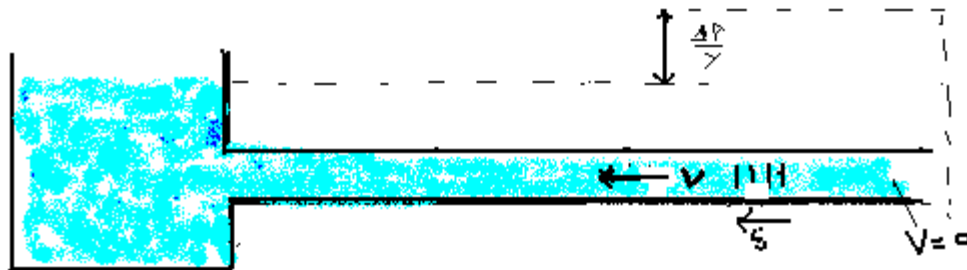


شکل 1- وضعیت های مختلف یک ضربی قوچ

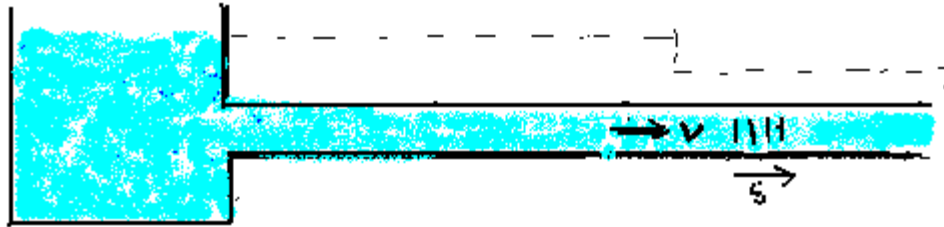




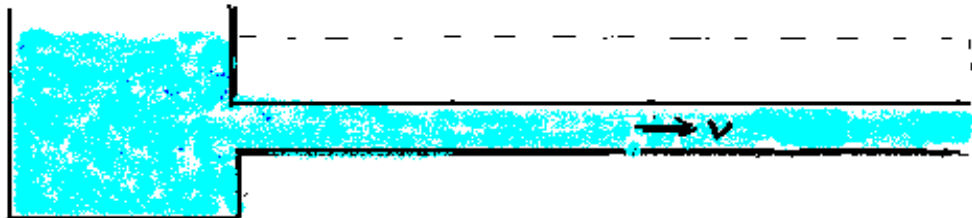
(ج) شرایط برای زمان $0 < t < 2L/s$



(ج) شرایط برای زمان $L/s < t < 2L/s$



(د) وضعیت پدیده برای زمان $2L/s < t < 3L/s$



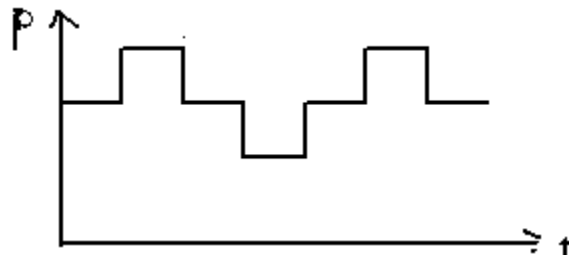
(ه) شرایط در زمان $3L/s < t < 4L/s$

(و) شرایط در زمان $t = 4L/s$

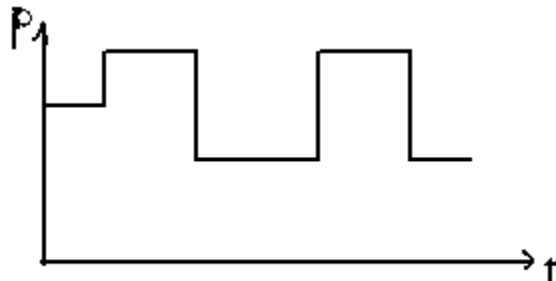
زمانی که این موج به منبع می رسد تمامی سیال داخل لوله تحت فشاری کمتر از فشار منبع خواهد بود. بنابراین عدم موازنه یفشار در منبع و لوله باعث می گردد مجددا سیال بدخل لوله جاری می شود و

وضعیت نشان داده شده در شکل (ه-1) که دقیقا شرایط لوله یعنی وضعیت (الف-1) است، بوجود آید و پدیده مجددا بصورت تناوبی تکرار گردد.

از توضیحات بدست آمده می توان استنباط نمود که فشار بلافاصله در مجاورت شیر بطور متناوب مطابق شکل آنچه در شکل (الف-2) دیده می شود بالا و پایین می رود. آنچه در شکل (ب-2) مشاهده می گردد، در نیمه راه بین منبع و شیر تغییرات پیچیده تری در فشار وجود دارد.



شکل 2- تغییرات فشار در پدیده ضربه قوچ در دو نقطه



(الف) - نقطه ای ما بین شیر و منبع (ب) - محل چسبیده به شیر

بدیهی است که یک شیر نمی تواند در یک لحظه بسته شود این مسئله و همچنین اثرات لزجت که در اینجا مورد اغماض قرار گرفته بود، اثرات تخفیف دهنده ای در پدیده ضربه قوچ دارند.

با در نظر گرفتن این نکات نمودار واقعی تر تغییرات فشار نسبتا به زمان درست در کنار شیر در سمت منبع را می توان بصورت منحنی در نظر گرفت مسئله عدم پیوستگی تغییرات فشار نسبت به زمان آن هم در شرایط حاد (مانند شکستگی های قائمه در اشکال الف - 2 و ب - 2) بوسیله تعیین زمان مشخص برای بسته شدن شیر از بین میرود. ولی بهر حال باید تذکر داده شود که حداکثر فشار بوجود آمده در نزدیکی شیر در واقع همان است که در حالت بسته شدن لحظه ای شیر توضیح داده شد، مشروط بر آن که زمان بسته شدن شیر از $2l/s$ کمتر باشد.

در عمل اصطکاک سیال و کاملا الاستیک نبودن لوله و سیال باعث استهلاک نوسانات شده، سیال را به سکون می رسانند. همچنین بسته شدن شیر را در مکتر از $2L/s$ را بسته شدن سریع و در مدتی بیشتر از $2L/s$ را بسته شدن آهسته گویند.

روندی که به دنبال بسته شدن شیر در لوله رخ می دهد شبیه است به سلسله روداد های که پس از تصادف لوکوموتیو در واگن های قطار می افتد.

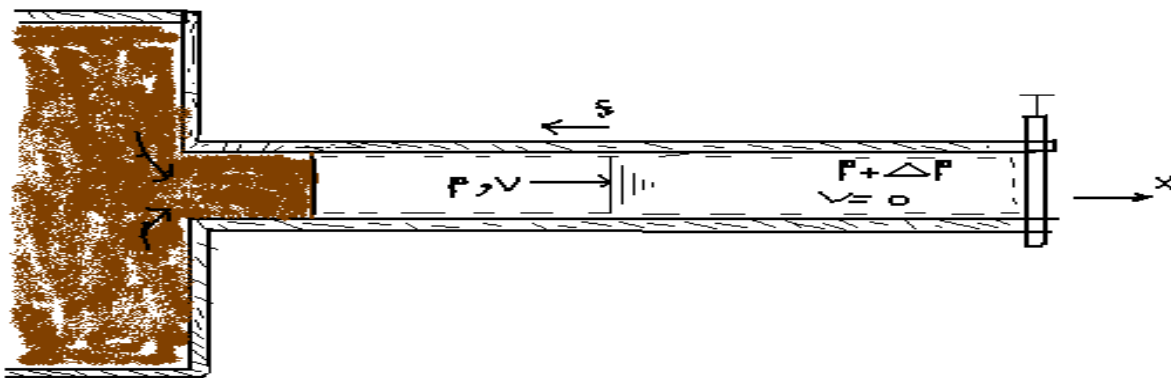
مقدار فشار در ضربه قوچ و سرعت موج فشار در آن:

مطالعه کمی و بدست آوردن روابط لازم برای ضربه قوچ را می توان با بکار بردن اصل تغییر در گشتاور حرکتی انجام داد. برای این منظور می توان حجم کنترل را بگونه ای انتخاب کرد که از حرکت موج پیروی

کند. در این حالت جریان دائمی نسبت به حجم کنترل وجود خواهد داشت. و یا می توان حجم کنترل را ثابت گرفت که در این وضعیت حالت طبیعی جریان غیر دائمی خواهد بود.

بمنظور نمایش حالت غیر دائمی و پیدا کردن فرم رابطه در این حالت ، فرم دومی را که فوقاً توضیح داده شده است بررسی می کنیم.

قطعه ای از لوله را با جداره صلب در نظر می گیریم که موج فشار در آن وجود داشته باشد. جرم مخصوص، فشار و سرعت سیال در سمت منبع از موج فشار را بترتیب با v, ρ, ρ و مقادیر مشابه در سمت شیر را با $\rho + \Delta\rho$ ، $p + \Delta p$ و 0 نشان می دهیم. نظر به اینکه موج از سمت شیر بطرف منبع در حرکت است فاصله اش از شیر در هر زمان (t) برابر $c.t$ خواهد بود



حال می توانیم رابطه ی مومنتوم را برای جریان در حجم کنترل فرض شده بنویسیم. این رابطه در راستای x چنین است:

$$\sum F_x = \sum v \rho V \cdot A + d/dt(\int v \rho dv)$$

$$\sum F_x = pA - (p + \Delta p)A$$

$$\sum v \rho VA = v \rho VA = V \rho (-VA)$$

$$d/dt \int V \rho dV = d/dt [\rho(L-c.t)A] = -V \rho c A$$

اگر معادلات بالا را در رابطه ی مومنتوم قرار دهیم فرمول زیر بدست خواهد آمد:

$$\rho A - (\rho + \Delta \rho) A = -\rho V^2 A - \rho V c A$$

$$\Delta \rho = \rho V^2 + \rho V c$$

در معادله اخیر معمولا از جمله ی اول سمت راست که نسبت به جمله ی دوم، ناچیز است صرفنظر می شود. این اغماض بدان علت است که سرعت S در سیال در مقایسه با V بسیار بزرگ می باشد. در نتیجه می توان رابطه را به شکل زیر نوشت:

$$\Delta \rho = \rho V c$$

حالا سرعت حرکت موج فشار را با بکاربردن معادله ی پیوستگی جریان برای حجم کنترل بدست می آوریم:

$$\sum \rho V A + d/dt \int \rho dv = 0$$

که وقتی برای حجم کنترل بکار برده شود. رابطه ی زیر را خواهیم داشت:

$$P(-VA) + d/dt [\rho(L-ct)A + (\rho + \Delta \rho)ctA]$$

$$\Delta \rho / \rho = V / c$$

$$c = V / \Delta \rho / \rho$$

از طرفی بنا به تعریف دیدیم که $E = \Delta \rho / \Delta \rho / \rho$ ، بنابراین:

$$\Delta \rho / \rho = \Delta \rho / E$$

و حالا با حذف $\Delta\rho/\rho$ بین معادلات صفحه ی قبل و معادله ی بالا رابطه ی زیر برای سرعت حرکت موج فشار بدست می آید:

$$c = VE/\Delta p \rightarrow c = VE/\rho$$

شرح آزمایش:

ابتدا پمپ را روشن می کنیم و مخزن را تا جایی پر می کنیم که بتوان آب موجود در ستون استوانه ای را در استوانه مدرج به تعادل رساند. پمپ را خاموش کرده و سطح اولیه ی آب را در استوانه می خوانیم. سپس شیر را باز کرده ضمن پر کردن استوانه مدرج بلافاصله شیر را می بندیم طوری که حجم آب در استوانه به صفر برسد. سپس دبی را از طریق زمان گرفته شده از طریق کرنومتر بدست می آوریم. آب استوانه را خالی کرده سپس شیر را ناگهان باز کرده و وقتی که ارتفاع آب در ستون استوانه ایی به صفر رسید شیر را بطور ناگهانی می بندیم و زمان را اندازه گیری می کنیم. نوسانات را تا هنگامی که خواندن نوسانات ممکن است می خوانیم بعد زمان سنج را قطع کرده زمان را یادداشت می کنیم. این کار را برای 3 ارتفاع اولیه ی دیگر تکرار می کنیم و نتایج را یادداشت می کنیم:

تحلیل داده ها

1- با استفاده از فرمول ($\Delta H = c/g \Delta V$) ΔH تئوری برای اولین ماکزیمم و مینیمم محاسبه کنید و با ΔH مقایسه کنید:

$$\Delta p = \rho V c$$

$$C = vE/\rho$$

$$\Delta H = c/g \Delta V$$

$$\rho = 997.1 (\text{kg/m}^3)$$

$$E = 222 \cdot 10^7 (\text{N/m}^2)$$

$$\Delta V = V_1 - V_2 = V, V_1 = 0$$

$$D = 0.016 \text{ cm}, L = 0.313, A = 2.835 \cdot 10^{-4}$$

$$a = 330 (\text{m/s})$$

h(min)	h(max)	t(s)	V(m ³)	Q(m ³ /s)	v=Q/A(m/s)	$\Delta H(\text{act})$	$\Delta H(\text{th})$
46.2	48	25	0.0025	0.0001	0.3527	1.8	11.63
46	48	26	0.002	0.000076	0.2713	2	8.95
46	47	23	0.0021	0.000091	0.3220	1	10.6
45.5	47	26	0.00165	0.000063	0.223	1.5	7.359
45.2	46.4	19	0.00320	0.00016	0.594	1.2	19.60

2- زمان هریک از نوسانات بدست آمده (از تقسیم زمان نوسان به تعداد ماکزیمم های یاد داشت شده) را بدست آورده و با مقدار $4L/a$ مقایسه کنید.

ارتفاع اولیه	تعداد نوسانات	زمان کل نوسانات	زمان هر نوسان	زمان تئوری هر نوسان
47.2	5	30	6	0.0037
47	4	29	7.25	0.0037
46.8	3	26	8.66	0.0037
46.4	4	25	6.25	0.0037
46.2	3	19	6.33	0.0037

افت فشار در سیستم لوله کشی

تئوری آزمایش:

افت انرژی کلی در یک سیستم لوله کشی ناشی از دو عامل است: یک افت انرژی طولی که در اثر مقاومت نیروی چسبندگی سیال به وجود می آید و دیگری افت انرژی در اثر عواملی از قبیل زانویی ، شیرها و تغییرات سطح میسر می باشد.

حال هر کدام از این افت ها را بررسی می کنیم:

الف) افت انرژی طولی:

از رابطه (1) بدست می آید: d و قطر ثابت L افت انرژی طولی در لوله ای مستقیم به طول

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

(ضریب اصطکاک) تابعی از عدد رینولدز جریان و f ثابت و بدون بعد است. مقدار f که در آن

زبری نسبی لوله می باشد. در لوله های نسبتاً صاف و جریانی با عدد رینولدز بین 3000 تا را می توان از رابطه بلزیوس (2) بدست آورد. f 100000 مقدار

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

ب) افت انرژی در اثر تغییر ناگهانی سطح مقطع لوله:

مطابق شکل زیر جریان آب را در داخل لوله ای که سطح مقطع آن بطور ناگهانی تغییر می کند در نظر بگیرید.

باشد و از افت انرژی طولی و انرژی جنبشی در Δh_f از لوله برابر با L اگر افت انرژی در طول

قسمت با قطر بزرگتر صرفنظر شود با نوشتن رابطه برنولی بین دو پیزومتر نشان داده شده می توان افت جزئی هر قسمت را از روابط (3) و (4) بدست آورد.

$$\Delta h_L = \Delta h' + \frac{u^2}{2g} - \Delta h_f \left(\frac{X}{L} \right)$$

برای انبساط ناگهانی (3)

$$\Delta h_L = \Delta h' - \frac{u^2}{2g} - \Delta h_f \left(\frac{X}{L} \right)$$

برای انقباض ناگهانی (4)

اختلاف ارتفاع پیزومترهای $\Delta h'$ سرعت جریات در قسمت باریک تر لوله و L در روابط فوق ورودی و خروجی می باشند. در عمل افت انرژی جزئی را از رابطه (5) بدست می آورند:

$$\Delta h_L = K \frac{u^2}{2g}$$

(5)

ضریب افت نامیده می شود. جدول (1) تغییرات ضریب افت برای انقباض ناگهانی را K که در آن نشان می دهد.

(ج) افت انرژی در زانها و خم ها:

اگر در دو نقطه از مسیر لوله ها که بین آن دو نقطه زانوئی 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 و در اثر زانوئی اگر افت انرژی طولی بین دو نقطه باشد ، رابطه (6) بین دو نقطه برقرار است. $\Delta h'$ و اختلاف پیزومترها Δh_b و افت جزئی Δh_f

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

در عمل افت انرژی جزئی زانوئی را از رابطه (7) بدست می آورند.

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

و (2) ضریب افت می باشد . مقدار ضریب افت زانوئی یا خم به نسبت شعاع زانوئی K که در آن به قطر زانوئی بستگی دارد . جدول (2) تغییرات ضریب افت را برحسب نسبت شعاع به قطر نشان می دهد.
(د) افت انرژی در شیرها:

افت انرژی در شیرها بستگی به نوع ساختمان آن شیر دارد. بطور کلی تحلیل و محاسبات تئوریک برای تعیین این افت ها وجود ندارد. که اگر در قبل و بعد از شیر پیزومترهایی نصب شود ، می توان افت انرژی جزئی شیرها را بطور تجربی تعیین نمود . مقدار تجربی افت جزئی شیرها از رابطه (8) تبعیت می کند.

$$(8) \Delta h_L = K \frac{u^2}{2g}$$

در شیرها ثابت نمی باشد ، بلکه به نوع شیر و مقدار K ضریب افت می باشد . مقدار K که در آن را برای اتصالات مشخص می کند. باز بودن آن بستگی دارد.

جدول (1) ، ضریب افت برای انقباض ناگهانی

A_2/A_1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0
K	0.5	0.46	0.41	0.36	0.30	0.18	0.06	0.0

جدول (2)

r/d	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
K	0.4	0.32	0.27	0.22	0.2

جدول (3) جدول تغییرات ضرایب افت

K	نوع اتصال
10.0	شیر کروی کاملاً باز
0.2	شیر دریچه ای کاملاً باز
5.6	شیر دریچه ای نیمه باز

شرح دستگاه و روش آزمایش:

در این دستگاه هدف اندازه گیری افت فشارهای ناشی از عبور جریان سیال از زانویی ها، ولوها، لوله های مستقیم، اندازه بستر جریان و ... می باشد.

همانطوری که در شکل مشاهده می کنید:



دستگاه مورد آزمایش از دو مدار هیدرولیکی جداگانه یکی به رنگ آبی و دیگری قرمز تشکیل شده است .
در هر یک از مدارها تعدادی اتصالات قرار داده شده

مشخصات و ابعاد مدارها در جدول زیر گردیده است.

مدار قرمز روی تابلو شامل قسمت های زیر است:

1. شیر دریچه ای

متر

مدار به رنگ آبی روشن شامل قسمت های زیر است:

5. شیر کروی

6. انبساط ناگهانی

7. انقباض ناگهانی

8. خم های 90 درجه به شعاع 50 ، 100 و 150 میلی متر

در تمام اتصالات فوق (بجز دو نوع شیر) افت فشار توسط یک جفت پیزومتر تحت فشار هوا اندازه گیری می شود. و لیکن تعیین افت فشار شیرها توسط مانومتر تفاضلی جیوه ای تعیین می را نشان دهد برای Δh شود. یادآوری می شود که اگر مانومتر تفاضلی جیوه ای اختلاف ارتفاع تبدیل آن بر حسب ستون آب می بایست آن را در عدد 13.55 ضرب نمود.

روش انجام آزمایش:

قبل از شروع آزمایش باید دستگاه را تنظیم نمود سپس آزمایش را با دستور زیر انجام می دهیم. در مرحله اول شیر کروی بسته و شیر دریچه ای را بطور کامل باز می کنیم تا حداکثر جریان آب در مدار به رنگ قرمز برقرار شود. حال توسط قرائت پیزومترها می توان افت انرژی کلی و سپس افت انرژی جزئی هر اتصال موجود در مدار فوق را تعیین نمود.

برای بررسی تغییرات افت انرژی نسبت به انرژی جنبشی آب جاری در لوله به تدریج شیر دریچه ای را می بندیم و هر بار سطوح آب در پیزومترها را یادداشت می کنیم .

برای بررسی تغییرات افت انرژی جزئی نسبت به انرژی جنبشی آب جاری در لوله به تدریج شیر کروی را می بندیم و هر بار سطوح آب در پیزومترها را یادداشت نموده و دبی را اندازه گیری می کنیم. این عمل را حدودا 10 بار تکرار نمایید.

نتایج آزمایش:

اعداد پیزومترها به قرار زیر ثبت شدند:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	410	414	405	385	330	338	397	419	484	503
2	338	352	350	352	325	340	398	423	482	504
3	280	304	305	309	323	363	389	450	480	522
4	278	435	409	429	357	556	322	732	461	691
5	199	225	229	224	324	335	570	581	485	499
6	229	305	302	308	354	460	521	726	484	599

افت فشار در لوله ها

تئوری آزمایش:

حرکت سیال در لوله باعث افت انرژی سیال می‌شود که ناشی از اصطکاک سیال با جدار لوله است. این افت انرژی به صورت افت فشار سیال نمایان می‌شود. البته به جز اصطکاک عوامل دیگری مانند گشاد و تنگ شدن ناگهانی لوله، زانویی، شیرفلکه و... نیز باعث افت می‌شوند که به آنها افتهای موضعی می‌گویند اما عمده افت ناشی از اصطکاک است.

برای محاسبه افت فشار ناشی از اصطکاک در خط لوله‌ها روشهای متفاوتی اعم از فرمولها، جداول و نمودارها وجود دارد که عمدتاً پارامترهای ورودی آنها مشترک است و با داشتن مشخصات خاصی از لوله و سیال

جاری در آن می‌توان از هر کدام از این روشها برای محاسبه افت فشار استفاده کرد. جوابهای به دست آمده از هر روش بسته به پارامترهای ورودی گاه بسیار نزدیک به هم بوده و گاه تفاوت فاحش دارند.

هرگاه در شبکه ای با خطوط طویل، به هر علتی سرعت سیال ناگهان قطع شود، موج های فشاری در شبکه به وجود می آید، که این موج ها می توانند چندین برابر فشار کار دستگاه (پمپ)، فشار تولید نمایند و موجب به وجود آمدن تنش های بسیار زیادی در اجزاء شبکه گشته و باعث صدمات فراوانی به شبکه شوند و در بدترین حالات باعث شکستگی پوسته پمپ و لوله ها و اتصالات شبکه می شود. چنانچه این فشار تعدیل نشود پمپی که می بایست حداقل 10 سال کار نماید در کمتر از 10 ماه از بین می رود.

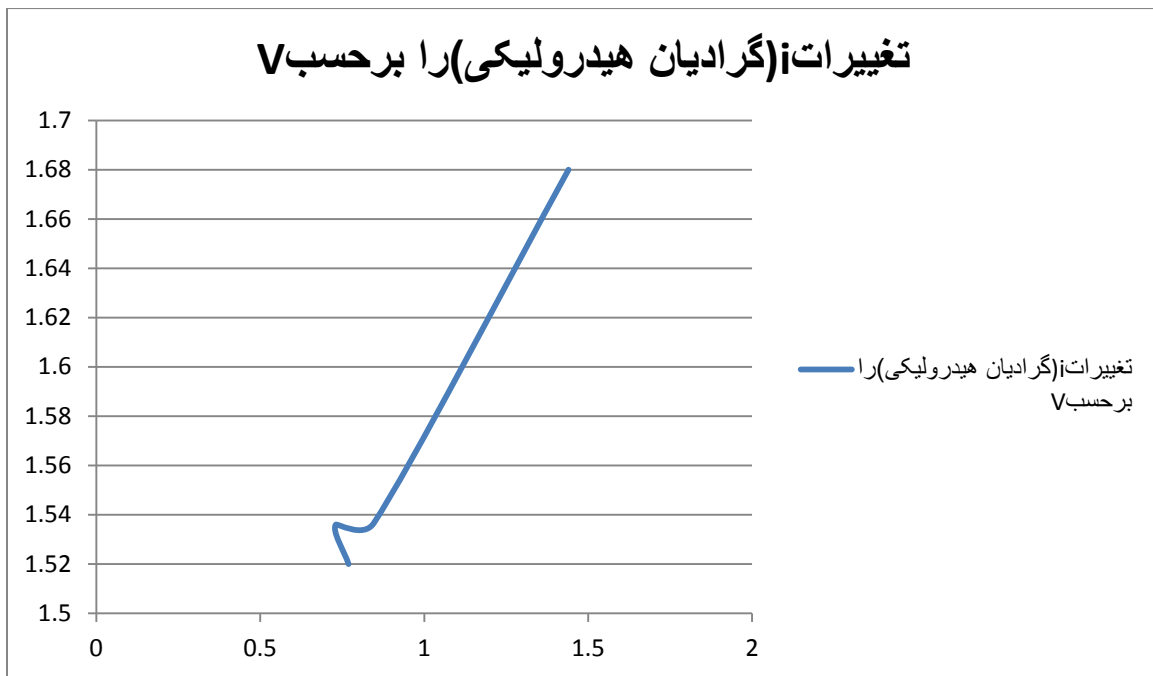
در خلال حرکت موج فشار در لوله، مقداری از انرژی آن در اثر اصطکاک از بین می رود. موج فشاری ناشی از افزایش فشار موج تراکم و موج فشاری ناشی از کاهش فشار موج انبساط نام دارد، امواج تراکم در برخورد با مانع نرم مانند منبع آب، هوا و ... به صورت موج انبساط و در برخورد با مانع سخت مانند شیر یکطرفه، دیوار و ... بصورت امواج تراکم منعکس می شود، این مسئله در مورد موج انبساط نیز صدق می کند. افت فشاری که بر اثر اصطکاک داخل لوله به وجود می آید روی نوسانات فشار تأثیر نموده و کم کم آن را مستهلک و سیستم به حالت تعادل در می آید.

تحلیل داده ها

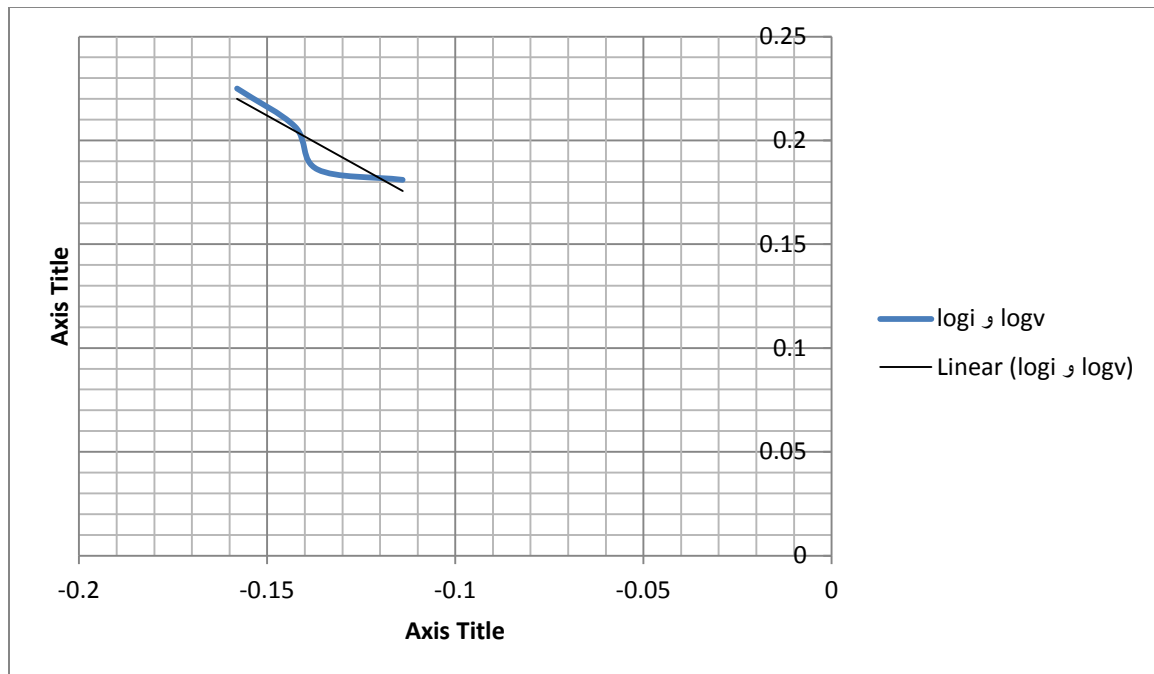
- تغییرات اِ (گرادیان هیدرولیکی) را بر حسب V (سرعت متوسط) رسم کنید.

مرحله	H1(cm)	H2(cm)	t	V(ml)	Q(m ³ /s)
1	40	80	20	380	0.000019
2	42	80	26	500	0.0000192
3	38	82	25	480	0.0000192
4	21	96	22	470	0.000021

V	i
1.52	0.769
1.536	0.730
1.536	0.846
1.68	1.44



2- نمودار تغییرات $\log i$ و $\log v$ را رسم کنید. همچنین بهترین خط گذرنده از نقاط مذکور را رسم کنید.



تخلیه آب از روزنه

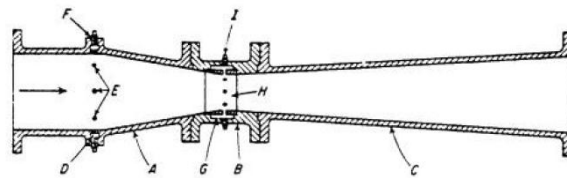
تئوری آزمایش :

جریان سیالات اغلب توسط جریان سنج های فشاری انجام می شود. عملکرد این جریان سنج ها بر اساس معادله برنولی می باشد. برای افزایش سرعت جریان از یک انقباض در مسیر جریان استفاده می شود. این پدیده همراه با کاهش بلندای فشار می باشد و از آنجا که فرآیند فشار تابعی از دبی سیال است می توان آن را محاسبه نمود.

جریان سنج هایی را که برای کانال های بسته ساخته شده اند می توان برای هر دو فاز گاز و مایع به کار برد. اما جریان سنج های سیستم باز تنها برای مایعات به کار می روند. انواع جریان سنج های فشاری عبارتند از :

روزنه ای ، ونتوری ، نازل های جریان ، لوله های پیتوت و حوضچه که از دو قسمت اولیه و ثانویه تشکیل شده است اولی عامل ایجاد افت فشار یا بلندا و دومی عامل اندازه گیری است ، قسمت اول فاقد هرگونه بخش متحرکی می باشد. متداول ترین نوع قسمت دوم جریان سنج های سیستم بسته ، فشار سنج های U شکل و مبدل های فشار جزیبی هستند.

ونتوری:



اوریفیس



جریان سنج های فشاری در سیستم های بسته :

جریان سنج های روزنه ای به طور ساده از یک صفحه صاف سوراخ دار تشکیل شده است.



برای جریان پایدار افقی یک سیال تراکم ناپذیر با چگالی بین دو نقطه 1 و 2 درون لوله ای که فاقد پمپ و بدون اصطکاک می باشد رابطه برنولی را می توان چنین نوشت:

$$Z_2 - Z_1 = (V_2^2 / 2g) = H_o$$

به علت افت انرژی در هنگام عبور جریان از استوانه و روزنه مقدار واقعی سرعت در مقطع انقباض یافته (V_c) کمتر از (V_2) خواهد بود. مقدار ایان سرعت بر حسب ارتفاع ستون آب قابل محاسبه است:

$$V_c^2 / 2g = H_c$$

با توجه به این روابط می توان ظرایب مختلف یک روزنه را تعریف نمود.

الف) ضریب سرعت (C_{II}): نسبت مقدار سرعت واقعی به سرعت ایده آل

$$C_H = \frac{V_c}{V_2} = \sqrt{\frac{H_c}{H_0}}$$

ب) ضریب انقباض (C_c): نسبت سطح انقباض به سطح مقطع روزنه

$$C_c = A_c / A_0$$

ج) ضریب تخلیه (C_d): نسبت مقدار واقعی شدت جریان به مقدار تئوریک آن

$$C_d = Q_c / Q_0 = (V_c A_c) / (V_2 A_0)$$

وسیله آزمایش از یک استوانه که در کف آن یک روز نصب شده تشکیل گردیده است. در روی این استوانه دو لوله شفاف پلاستیکی قرار دارد. یکی از این لوله ها به کف استوانه و دیگری به یک لوله پیلوت وصل شده است. توسط این دو لوله می توان انرژی جریان را اندازه گیری نمود. یک تیغه نازک در دهانه لوله پیتوت وجود دارد که برای اندازه گیری قطر جریان خروجی از رونه بکار می رود. آب از سمت چپ وارد اریفیس شده و دو پیزومتر مقادیر افت فشار در دو سر اریفیس نشان می دهد. جریان آب پس از عبور از اریفیس وارد مخزن اندازه گیری شده و در یک سیستم چرخشی دوباره توسط پمپ وارد اریفیس می گردد.

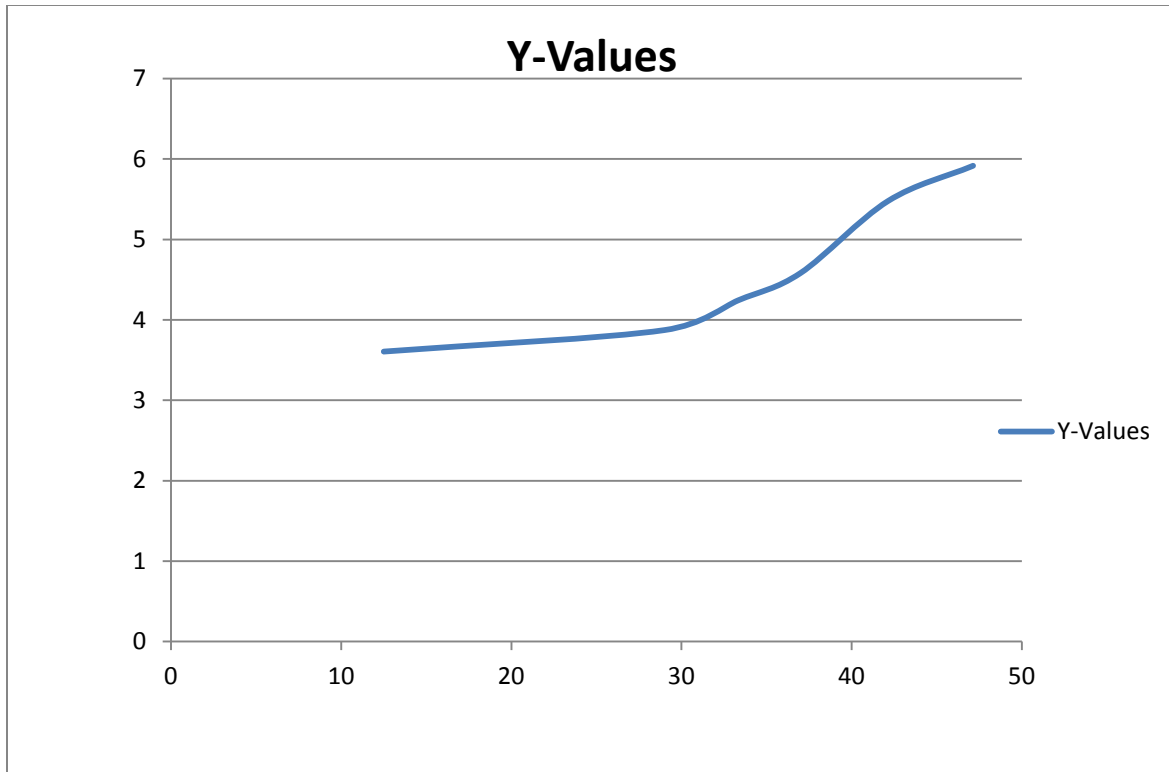
روش کار:

پمپ را روشن نموده و شیر ورودی جریان را آن اندازه باز می کنیم که آب در استوانه بالا آمده و از لوله تخلیه داخل استوانه مقدار کمی بطور مداوم خارج می شود. بدین طریق آب داخل استوانه ثابت خواهد ماند. با اندازه گیری زمان جمع آوری مقدار معین آب توسط یک استوانه مدرج، شدت جریان واقعی را بدست می آوریم. حال لوله پیتوت را در محل انقباض جریان وارد کرده و در مرکز جریان قرار دهید. مقادیر ارتفاع آب را در لوله مربوطه یادداشت می کنیم.

تحلیل داده ها

1- منحنی تغییرات $H_o^{0.5}$ را در مقابل Q رسم نموده و مقدار متوسط C_d را با استفاده از گرادیان این منحنی بدست آورید.

دبی ($m^3 * 10^6$)	ارتفاع آب مخزن (cm)	ارتفاع مانومتر (cm)
47.14	35	28
42.14	30	27
37	21	19
33.33	18	15.8
29	15	12
12.5	13	11



با خطی سازی به دست آوردن شیب نمودار C_d حاصل میشود

$$C_d = 0.06766$$

2- مقادیر C_c و C_h را با استفاده از اطلاعات حاصله محاسبه نمایید.

$$C_c = \frac{A_c}{A_h} = \frac{\pi \frac{D_c^2}{4}}{\pi \frac{D_o^2}{4}} = \left(\frac{D_c}{D_o} \right)^2$$

$$C_h = \frac{V_c}{V_o} = \sqrt{\frac{2gH_c}{2gH_o}} = \sqrt{\frac{H_c}{H_o}}$$

$$C_{h1} = 0.8944$$

$$C_{h4} = 0.9368$$

$$C_{h2} = 0.9486$$

$$C_{h5} = 0.8944$$

$$C_{h3} = 0.9511$$

$$C_{h6} = 0.9198$$

با داشتن C_h ها و C_d میتوان از رابطه ی $C_d = C_h \cdot C_c$ ، C_c را به دست آورد.

دبی سنج (ونتوری و اوریفیس)

تئوری آزمایش

دبی سنج وسیله‌ای است که عموماً با اندازه‌گیری یک کمیت، مقدار (وزن یا حجم) سیال عبوری از یک مقطع را در واحد زمان اندازه‌گیری می‌کند. از انواع دبی سنج می‌توان اریفیس، شیبوره، لوله‌ی ونتوری، روتامترو سرریز را نام برد. در این آزمایش اریفیس و ونتوری را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

اریفیس

اریفیس در دیواره‌ی مخزن:

برای اندازه‌گیری دبی خروجی از مخزن یا دبی عبوری از لوله می‌توان از اریفیس استفاده کرد. اریفیس سوراخی است معمولاً گرد که سیال از داخل آن عبور می‌کند. اریفیس ممکن است دارای لبه‌های تیز و یا لبه‌های گرد باشد. در اریفیس لب تیز، مقطع جت سیال پس از عبور از اریفیس منقبض می‌شود و در فاصله‌ی کوتاهی که حدود نصف قطر سوراخ است، به حداقل مساحت خود می‌رسد. در شکل زیر یک اریفیس لب تیز نشان داده شده است. در دیواره‌ی یک مخزن نصب شده است. سیالی که در روی دیواره‌ی مخزن جریان یافته به اریفیس نزدیک می‌شود، در هنگام رسیدن به لبه‌ی اریفیس نمی‌تواند به یکباره 90 درجه منحرف شود. از اینرو سرعت خروجی دارای یک مؤلفه‌ی شعاعی خواهد بود که سطح جت را کاهش می‌دهد. مقطعی از جت که کمترین مساحت را دارد، مقطع منقبض نامیده می‌شود. در این مقطع خطوط جریان موازیند و فشار با فشار اتمسفر برابر است. ارتفاع روی اریفیس، H ، عبارتست از فاصله‌ی قائم مرکز اریفیس تا سطح آزاد. فرض می‌کنیم که این ارتفاع ثابت بماند، ارتلفات صرف نظر می‌کنیم و معادله‌ی برنولی را از نقطه‌ی 1 روی سطح آزاد تا نقطه‌ی 2 در مرکز مقطع منقبض می‌نویسیم:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2$$

مبنای فشار را فشار اتمسفر محلی می‌گیریم. مبنای ارتفاع را در نقطه‌ی 2 می‌گیریم. لذا:

$$0 + 0 + H = \frac{V_2^2}{2g} + 0 + 0 \rightarrow V_2 = \sqrt{2gH}$$

معادله‌ی فوق سرعت تئوریک را به دست می‌دهد، زیرا از تلفات بین دو نقطه صرف‌نظر کرده‌ایم. نسبت سرعت واقعی، V_a ، V_t ، ضریب سرعت، C_v ، گویند:

$$C_v = \frac{V_a}{V_t}$$

بنابراین داریم:

$$V_{2a} = C_v \sqrt{2gH}$$

دبی واقعی خروجی از اریفیس برابر است با حاصلضرب سرعت واقعی سیال در مقطع منقبض و مساحت جت در آن مقطع. نسبت مساحت مقطع منقبض، A_2 ، به مساحت اریفیس، A_0 ، را ضریب انقباض، C_c ، گویند:

$$C_c = \frac{A_2}{A_0}$$

لذا مساحت مقطع منقبض $C_c A_0$ است. دبی واقعی برابر است با:

$$Q_a = C_v C_c \sqrt{2gH}$$

مرسوم است که ضریب سرعت و ضریب انقباض را در یک ضریب به نام ضریب دبی، C_d ، ادغام نمایند:

$$C_d = C_v C_c$$

در نتیجه:

$$Q_a = C_d A_0 \sqrt{2gH}$$

هیچ راهی برای محاسبه‌ی تلفات بین 1 تا 2 وجود ندارد و لذا C_v را باید به طور تجربی تعیین کرد. مقدار C_v برای اریفیس‌های لب تیز و لب گرد در حدود 0.95 تا 0.99 است.

اریفیس در لوله:

نصب اریفیس لب تیز در لوله باعث می‌شود که مطابق شکل جت عبوری از آن دچار انقباض شود. برای جریان تراکم ناپذیر، معادله‌ی برنولی را بین مقطع 1 و مقطع 2 یعنی مقطع منقبض می‌نویسیم:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma}$$

از طرفی معادله‌ی پیوستگی بین دو مقطع به صورت زیر بیان می‌شود:

$$V_1 \frac{\pi D_1^2}{4} = V_2 C_c \frac{\pi D_0^2}{4}$$

که در آن $C_c = A_2/A_0$ ضریب انقباض است. با حذف V_1 در معادلات فوق به دست می‌آوریم:

$$\frac{V_2^2}{2g} \left[1 - C_c^2 \left(\frac{D_0}{D_1} \right)^4 \right] = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$

با حل معادله‌ی فوق V_2 به صورت زیر به دست می‌آید:

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g(p_1 - p_2)/\gamma}{1 - C_c^2 \left(\frac{D_0}{D_1} \right)^4}}$$

که اگر آن را در C_v ضرب کنیم، سرعت واقعی در مقطع منقبض حاصل می‌شود:

$$V_{2a} = C_v \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)/\rho}{1 - C_c^2 \left(\frac{D_0}{D_1} \right)^4}}$$

بالاخره با ضرب سرعت واقعی در سطح جت، دبی واقعی به دست می‌آید:

$$Q = C_d A_0 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)/\rho}{1 - C_c^2 \left(D_0/D_1\right)^4}}$$

که در آن $C_d = C_c C_v$ می‌باشد.

لوله ونتوری:

لوله ونتوری برای اندازه گیری دبی جریان در لوله‌ها به کار می‌رود. لوله ونتوری از قسمت‌های زیر تشکیل شده است:

- 1- قسمتی که هم اندازه لوله است و دارای استر برنزی است، این قسمت به طور معمول مجهز به یک رینگ پیزومتری برای اندازه گیری فشار استاتیک است.
- 2- قسمت مخروطی همگرا
- 3- گلوگاه استوانه‌ای با استر برنزی مجهز به رینگ پیزومتری
- 4- قسمت مخروطی تدریجاً واگرا که به یک قسمت استوانه‌ای هم اندازه لوله ختم می‌شود.

دو رینگ پیزومتری به یک مانومتر دیفرانسیل متصل می‌شوند. لوله وانتوری را معمولاً به روش ریخته گری می‌سازند. اندازه لوله ونتوری را با قطر لوله و قطر گلوگاه بیان می‌کنند. مثلاً وقتی گفته می‌شود لوله ونتوری 6 cm در 4 cm، منظور این است که یک لوله ونتوری است که به لوله‌ای به قطر 6 cm متصل می‌شود و قطر گلوگاه آن 4 cm است. برای حصول نتایج دقیق باید لوله‌ی ونتوری به دنبال لوله مستقیمی نصب شود که طول آن حداقل 10 برابر قطر باشد. در لوله ونتوری، از مقطع ورودی تا گلوگاه، سرعت به شدت افزایش می‌یابد فشار کاهش می‌یابد. با افزایش دبی اختلاف فشار مقطع ورودی و گلوگاه افزایش می‌یابد. در ادامه دبی جریان تراکم ناپذیر را بصورت تابعی از اختلاف ارتفاع مانومتری بدست می‌آوریم.

فشارهای مقطع ورودی و مقطع گلوگاه، فشار واقعی هستند و سرعت‌های حاصل از معادله برنولی، سرعت‌های تئوریک هستند. اگر در معادله انرژی تلفات را منظور کنیم، سرعت‌های واقعی حاصل می‌شوند. در اینجا ابتدا با استفاده از معادله برنولی (معادله انرژی بدون جمله تلفات) سرعت تئوریک در گلوگاه را بدست می‌آوریم. سپس آنرا در ضریب سرعت ضرب می‌کنیم تا سرعت واقعی حاصل شود. آنگاه سرعت واقعی را در سطح گلوگاه ضرب می‌کنیم تا دبی واقعی بدست آید. معادله برنولی برای ونتوری افقی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma}$$

در این معادله v_1 سرعت سیال در مقطع 1 و v_2 سرعت در مقطع 2 است. در رابطه فوق فرض کردیم که ضرایب تصحیحی انرژی جنبشی، α ، برابر واحد می‌باشند. طبق معادله پیوستگی داریم $V_1 D_1^2 = V_2 D_2^2$. بنابراین می‌توان نوشت:

$$\frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g} \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4$$

این معادله هم برای سرعت‌های واقعی و هم برای سرعت‌های تئوریک صادق است. حال با جاگذاری آن در معادله برنولی V_2 را به صورت زیر بدست می‌آوریم:

$$\frac{v_2^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4 \right] = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$

و از آنجا:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g(p_1 - p_2)/\gamma}{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4}}$$

که اگر آنرا در ضریب سرعت ضرب کنیم، سرعت واقعی حاصل می‌شود:

$$v_2 = C_v \sqrt{\frac{2g(p_1 - p_2)/\gamma}{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4}}$$

و با ضرب کردن در A_2 سرعت واقعی بدست می‌آید:

$$Q = C_v A_2 \sqrt{\frac{2g(p_1 - p_2)/\gamma}{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4}}$$

در آزمایشی که انجام داده‌ایم روابط بصورت زیر است:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)/\rho}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^4}}$$

$$Q_{theoretical} = v_2 A_2 = A_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)/\rho}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^4}}$$

مقادیر $\frac{p}{\rho g}$ توسط دو پیزومتر اندازه‌گیری می‌شود، بنابراین :

$$h = \frac{p}{\rho g} \rightarrow Q_{theoretical} = A_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^4}}$$

برای تصحیح مقدار واقعی جریان و منظور کردن اثرات اصطحاک از ضریب تصحیح استفاده می‌شود که بطور تجربی تعیین می‌شود:

$$Q_{act} = (C_d)_{ven} A_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^4}}$$

بر اساس گزارشات ارائه شده، مقادیر $(C_d)_{ven}$ معمولاً مابین 0.9-0.99 تغییر می‌کند.

شرح دستگاه:

این دستگاه شامل ونتوری متر و یک اریفیس متر می‌باشد که بصورت سری پشت سرهم قرار دارند. آب از سمت چپ ابتدا وارد ونتوری متر و سپس وارد اریفیس شده و دو پیزومتر مقادری افت فشار در دور سر اریفیس و سه پیزومتر مقادیر افت فشار در سه ناحیه ونتوری را نشان می‌دهند. جریان آب پس از عبور از اریفیس وارد مخزن اندازه گیری شده و در یک سیستم چرخشی دوباره وارد ونتوری متر و از آنجا وارد اریفیس می‌شود.

روش کار:

پمپ را روشن کرده ابتدا با افزایش دبی جریان عبوری از سیستم، هوای موجود در مجاری را خارج می‌کنیم، این امر باعث می‌شود که هیچ تلاطمی در سیستم وجود نداشته باشد و اعداد گزارش شده توسط پیزومتر دقیق و بدون خطا باشند. حال با تغییر دبی جریان توسط شیر ورودی و ارتفاع ستون آب در پیزومتر را برای دبی‌های مختلف ثبت می‌کنیم.

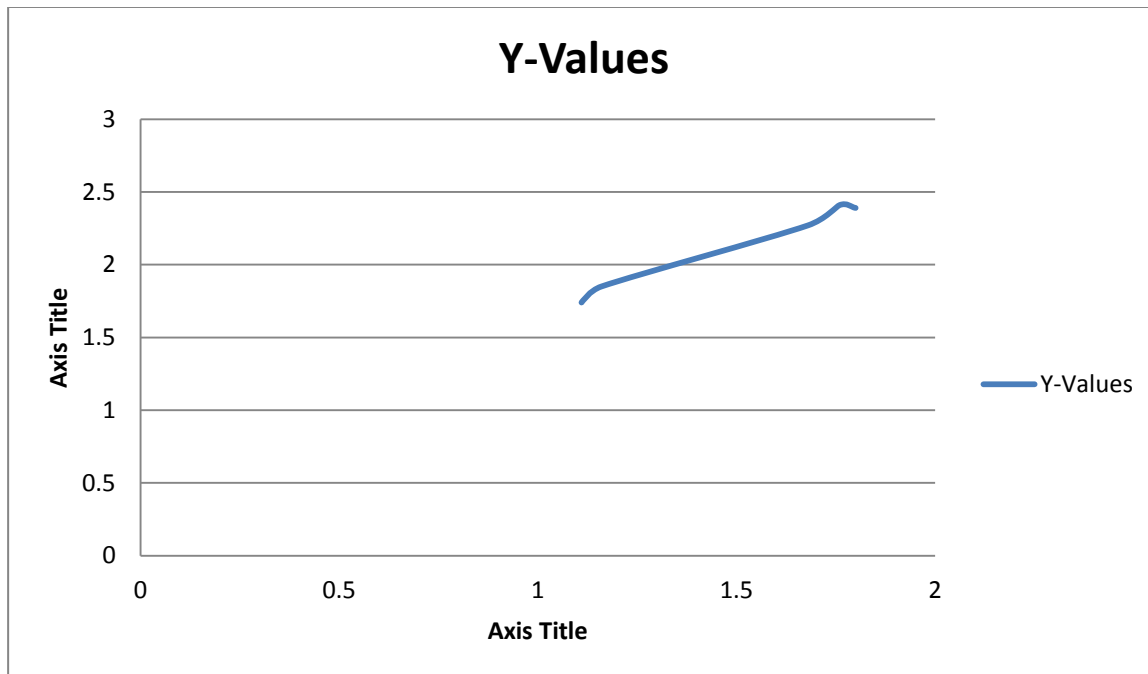
تحلیل داده ها

-مقدار $Q_{theoretical}$ (دبی تئوری) را برای 5 حالت محاسبه کنید.

شماره	زمان (s)	حجم (litr)	ارتفاع 1cm	ارتفاع 2cm	ارتفاع 3	ارتفاع 4	$Q_{act} * 10^4$	$Q_{the} * 10^4$
1	18	5	33	27	29	10.6	1.80	2.39
2	19	5	31	26	28	12	1.76	2.41
3	20	5	27	22	24	9	1.68	2.27
4	23	5	23	18	19	4.9	1.16	1.85
5	23.5	5	22	16	18	4	1.11	1.74
6	24.2	5	20	15	17	3	1.10	1.75

2- براساس مقادیر فشار، کدامیک، فشار پیژومتریک گلوگاه رانشان می دهد؟ چرا؟
طبق مقادیر خوانده شده پیژومتر دوم از سمت چپ فشار پیژومتریک گلوگاه رانشان می دهد. چون سطح مقطع در گلوگاه کمتر شده و طبق معادله ی پیوستگی سرعت در این مقطع زیادتر می شود، بنابراین طبق معادله ی برنولی فشار در این نقطه کمتر از ورودی و تئوری می باشد.

3- بار رسم نمودار Q_{act} در مقابل Q_{the} مقدار C_d را بدست آورید.



بنابراین $C_d=1.064$ خواهد بود.

4- مقدار درصد انحراف خطی سازی چه قدر است؟

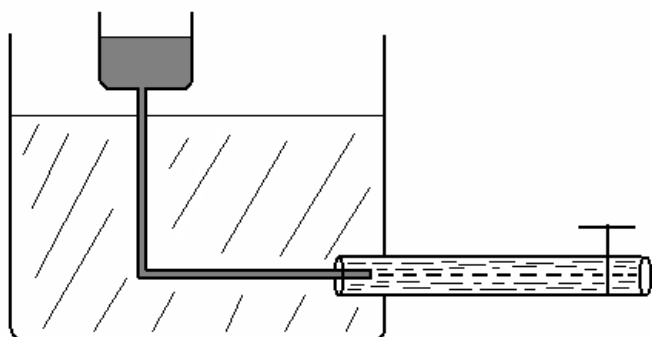
$$\frac{1.064 - 0.99}{0.99} \times 100 = \%7.47$$

براساس گزارشات ارائه شده، مقادیر $(C_d)_{ven}$ معمولاً مابین 0.9-0.99 تغییر می کند.

مشاهده جریان (آزمایش رینولدز)

تئوری آزمایش:

مفهوم جریان آرام به عنوان الگوی منظمی است که در آن لایه‌های سیال روی یکدیگر می‌لغزند تعریف می‌شود. اولین شخصی که به توزیع جریان داخل لوله‌ها دقت نمود فردی به نام رینولدز (Reynolds) بود. او



مشاهده نمود که اگر درون لوله‌ای که سیالی در آن جاری است ماده رنگی تزریق شود (شکل روبرو) در دبی کم لایه‌های رنگ بدون تداخل با سیال درون لوله به جریان خود ادامه خواهد داد. ولی با افزایش دبی سیال رنگ نه تنها به صورت لایه‌ها جاری نمی‌شود بلکه به لایه‌های

مجاور خود (سیال) نفوذ کرده و سیال رنگی از درون لوله خارج می‌شود. رینولدز مشاهده نمود که این نوع رژیم جریان بستگی به عدد بدون بعدی که بعدها به نام عدد رینولدز معروف شد، دارد و در حقیقت توزیع جریان درون لوله بستگی به نوع سیال (مشخصات سیال) سرعت آن و قطر لوله خواهد داشت. این رابطه بدون بعد می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

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

رینولدز مشاهده نمود که وقتی $N_{Re} < 2100$ است لایه‌های سیال و ماده‌ی رنگی در هم نفوذ نخواهند کرد و رنگ به صورت یک رشته‌ی مشخص درون لوله جاری خواهد شد این حالت را **جریان آرام** یا *Laminar* نامگذاری نمود و وقتی نفوذ بین لایه‌ها به وجود آمد $N_{Re} > 2100$ بوده و این حالت را نیز **جریان درهم** و یا *Turbulent* نام گذاری کرد. در موقعی که $N_{Re} = 2100$ تداخل بین لایه‌ها وجود داشته و جریان به صورت آرام می‌باشد یعنی در این حالت نه تنها جریان به صورت آرام می‌باشد بلکه به حالت درهم هم مشاهده می‌شود که به آن **حالت انتقالی** *Transition* نام نهاد.

آزمایشی که رینولدز برای بررسی این موضوع انجام داد به این صورت است که آب در درون یک لوله‌ی شیشه‌ای جریان یافته و سرعت آن از طریق شیر تعبیه شده در خروجی لوله تنظیم می‌شود. در ابتدای لوله لوله‌ای قرار داده شده است که از طریق آن ماده‌ای رنگی درون لوله شیشه‌ای تزریق می‌گردد. وقتی شیر به مقدار کمی باز می‌شود ماده رنگی در طول شیشه بدون انحراف و مانند یک رشته پیوسته جریان می‌یابد. این رفتار منظم جریان سیال را رژیم آرام می‌نامند. حال اگر شیر جریان کمی بیشتر باز شود به تدریج این رشته پیوسته شروع به نوسان می‌کند تا جایی که دیگر نمی‌تواند پیوستگی خود را حفظ کند که از این مرحله به بعد جریان را جریان درهم می‌نامیم. شرایطی را که در آن لایه رنگی پیوستگی خود را همچنان حفظ کرده است ولی دچار نوسانات شدید می‌باشد را حالت گذار یا انتقالی می‌نامند که در این حالت رژیم جریان از جریان آرام به جریان درهم تغییر پیدا می‌کند.

رینولدز دریافت که معیار انتقال جریان آرام به درهم در یک لوله عدد رینولدزی است که پارامتر طول آن قطر لوله است. در ایت آزمایش از طریق ازدیاد سرعت سیال درون لوله به بررسی رژیم نوع جریان می‌پردازیم. با افزایش سرعت سیال از آنجایی که سایر پارامترهای تعیین کننده عدد رینولدز ثابت می‌باشند، عدد رینولدز جریان افزایش می‌یابد و این امر از نحوه حرکت ماده رنگی درون لوله کاملاً مشهود است.

شرح دستگاه:

دستگاه از یک مخزن آب و یک خط لوله شیشه‌ای تشکیل یافته است و ماده رنگی توسط یک لوله مسی به ابتدای لوله شیشه‌ای تزریق می‌شود. شدت جریان لوله توسط شیر انتهایی لوله کنترل می‌شود. دبی خروجی از خط لوله از طریق استئانه مدرج و یک تایمر اندازه گیری می‌شود.

نتایج عملی:

اطلاعات زیر از اندازه گیری حجم جریان در دبی‌های مختلف بدست آمدلازم به ذکر است که عناوین به کار برده شده در مورد نوع رژیم جریان از روی مشاهدات چشمی بوده است و ممکن است در برخی موارد احتمال خطا در نوع رژیم حاکم بر حرکت سیال وجود دارد.

تحلیل داده ها

1- با رسم جدولی مقادیر عدد رینولدز و وضعیت ظاهری جریان را مشخص کنید .

V(ml)	t(s)	Q(ml/s)	$U \cdot 10^6$ (m/s)	Re	رژیم جریان
200	14.74	13.56852	13336.99	2400.658	انتقالي
100	14.5	6.896552	6778.871	1220.197	آرام
100	18.1	5.524862	5430.587	977.5056	آرام
110	7.8	14.10256	13861.92	2495.146	انتقالي
210	9.6	21.875	21501.73	3870.311	درهم
210	8.7	24.13793	23726.05	4270.688	درهم
215	5.2	41.34615	40640.63	7315.314	درهم
350	5	70	68805.54	12385	درهم
370	3.2	115.625	113652	20457.36	درهم

محاسبات برای بر اساس $\rho=1000\text{Kg/m}^3$ و $\mu=959 \cdot 10^{-6} \text{ N.S/m}^2$ و $D=18 \text{ mm}$ انجام شده است.

2- آیا جریان با توجه به عدد رینولدز قابل توجیه است؟

بله، با توجه به نتیجه گیری چشمی که برای نوع رژیم جریان صورت گرفته است و نیز عدد رینولدز محاسبه شده و همخوانی که این دو باهم دارند نوع جریان با عدد رینولدز آن کاملاً قابل توجیه است.

3- محدود عدد رینولدز را برای حالت گذرا مشخص کنید.

محدوده رینولدز بین 2100 تا 2300 برای حالت گذرا محدوده مناسبی به نظر می رسد

فشار سنج بوردون

تعریف فشار :

فشار عبارتست از نیروی وارده بر واحد سطح که با علامت اختصاری p نشان میدهند.

یکای فشار :

فشار با یكاهای مختلفی بیان میشود. یكای استاندارد فشار در دستگاه SI پاسکال میباشد که برابر $(1\text{Pa}=1\text{N/m}^2)$ می باشد. یک پاسکال برابر مقدار یک نیوتن نیروست که بر یک متر مربع سطح جسمی وارد میگردد. بهترین یكایی که میتواند مرجعی برای سایر یكها به کار برده شود اتمسفر (Atmospher) یا bar است که به صورت فشار متوسط هوا در سطح دریا تعریف میشود . چون پاسکال یكای کوچکی برای فشار است معمولا از کیلو پاسکال (kpa) که برابر 1000 پاسکال است، استفاده میکنند. هر اتمسفر تقریبا برابر 100 kpa است. هواشناسان از واحد میلی بار استفاده میکنند که برابر یک دهم پاسکال است. از سایر واحدهای فشار میتوان دین بر سانتیمتر مربع (dyn/cm^2) یا torr را نام برد .

چون در اندازه گیری فشار در لوله U شکل از طول سنجی مایع جیوه به فشار سنجی پی می برند، واحد سانتیمتر جیوه (cmHg) نیز برای کمیت فشار به غلط مرسوم شده است .

فشار نسبی و مطلق

در اندازه گیری فشار هرگاه مبدا اندازه گیری صفر باشد این فشار را فشار مطلق گویند (psiA) که در آن A معروف Absolue می باشد و اگر مبدا اندازه گیری فشار هوای محلی باشد این فشار را فشار نسبی (psiG) گفته که در آن G معروف Gauge می باشد. بدیهی است که گیجهای اندازه گیری مرسوم باید فشار نسبی را اندازه گیری کنند .

فشار باروشهای مکانیکی و الکتریکی اندازه گیری می شود. از وسایل اندازه گیری فشار می توان به دشتگاه های زیر اشاره کرد :

مانومتر manometer

لوله بوردون Bourdon Tube

بیلوزیا دمی bellows

کپسول capsul

دیافراگم Diaphragm

اختلاف فشارسنج Differential Pressuremeter

آزمایشگر باوزنه های ثابت Dead weight tester

استفاده از ترانسفورماتور پیزوالکتریک

استفاده از پیل و تستون

مانومتر manometer

این دستگاه تشکیل شده است از یک لوله شیشه ای مدرج با یک مخزن حاوی مایعی مانند جیوه و آب ویالکل که برای اندازه گیری فشارهای کم و مخصوصا برای تنظیم و میزان کردن دستگاه ها و کنترلرها (رگلاتور خانگی که فشار خروجی آن 7 اینچ آن است) استفاده می شود. و در انواع یوشکل، مخزن دارومایل موجود است. در صنعت از مانومترهای U شکل برای اندازه گیری فشارهای کم (4 اینچ آب و یا 48 اینچ جیوه) استفاده می شود بنابراین دقت مانومتر آبی بیشتر است. فشار اندازه گیری شده توسط مانومتر و مخزن دار می تواند بیشتر از یوشکل باشد (12 اینچ آب و 48 اینچ جیوه) برای اندازه گیری دقیقتر فشار از مانومترهای مایل استفاده می کنند که فشار ماکزیمم مورد اندازه گیری توسط این مانومترها نیم اینچ است.

نکته مهم در طرز کار با مانومترها اینست که مانومتر باید تراز بوده و برای خواندن آنها راس منحنی مایع درون مانومتر را منطبق بر درجات نمود و آنرا خواند که این راس در مانومترهای آبی گودترین و در مانومترهای جیوه ای بالاترین نقطه در نظر گرفته میشود. در ضمن خط دید چشم با سطح مایع باید کاملا افقی باشد.

مانومتر مخزن دار

مانومتر U شکل

لوله بوردون Bourdon این محفظه قابل ارتجاع توسط شخصی به همین نام در سال 1851 ساخته شده که بصورت یک لوله فلزی با سطح مقطع تقریبا بیضوی است و این خاصیت را دارد که مولفه نیروهای وارده بر سطح داخلی این تیوب به گونه ای است که سبب تغییر مکان انتهای این لوله میشود. لوله بوردون در سه

نوع	ساخته	می	شود:
*C-type برای فشارهای نسبتاً کم استفاده میشود.			
spiral یا حلزونی که بیشتر در ثباتها استفاده شده ورنج کاری کمتری نسبت به نوع معمولی (سی تایپ) دارد.			
Helical * یا مارپیچی که در فشارهای خیلی بالا (تا چند ده هزار پوند بر اینچ مربع) کاربرد استفاده دارد.			
از موارد زیر جهت ساخت لوله های بوردون استفاده میشود :			
فسفر برنز : برای سنجش فشار هوا و آب (تا 1000 psi)			
آلیاژ فولاد: برای محصولات گوناگون نفتی (تا 3000 psi)			
بریلیم - مس : که می تواند جایگزین هر دو مورد بالا گردد (تا 100 psi)			
فولاد زنگ نزن : برای فشارهای زیاد بخار و محصولات خورنده و غیره (تا فشار 800 psi)			
لوله بوردون "C" tube			
لوله بوردون Spiral tube			
لوله بوردون Helical tube			
بیلوز یا دمی یا فانوسی bellows			
بیلوزها از فلز، لاستیک و دیگر مواد انعطاف پذیر تشکیل می شوند که با افزایش یا کاهش فشار ورودی به آنها دچار انقباض و انقباض طولی شده و با استفاده از مکانیزمهای مناسب از این تغییر طول استفاده می شود. معمولاً رنج کاری آنها پایین بوده و از چند psi تجاوز نمی کند و در ترانس میترها و کنترلرها از آنها استفاده می شود.			
Simple bellows gauge			
کپسول capsul			
از دو دیافراگم تشکیل شده که بهم متصل هستند و بین آنها مایعی قرار دارد که در دستگاه دی پی سل (اختلاف فشار سنج) از آنها استفاده می شود. یکی از موارد کاربرد آنها در اوریفیس میترها می باشد.			
دیافراگم Diaphragm			
این وسیله که بنام مجموعه دیافراگم نیز شناخته می شود از یک یا چند دیافراگم روی هم تشکیل شده است و به شکل مدور می باشد و از لاستیک یا آلیاژ فلزی ساخته شده است و بیشتر در دستگاه های ثابت از آن استفاده			
میشود.			
نکته مهم در طرز کار با مانومترها اینست که مانومتر باید تراز بوده و برای خواندن آنها راس منحنی مایع درون مانومتر را منطبق بر درجات نمود و آنرا خواند که این راس در مانومترهای آبی گودترین و در مانومترهای جیوه ای بالاترین نقطه در نظر گرفته میشود. در ضمن خط دید چشم با سطح مایع باید کاملاً افقی باشد.			

اختلاف فشار سنج Differential Pressure meter

این وسیله تفاضل دوفشار مختلف را اندازه گیری می نماید که ازدوالمنت اولیه اندازه گیر فشار (مانند دوکپسول) تشکیل شده است که عمل اندازه گیری در آن به شکل نمایش ویا عملکردی توسط اهرم صورت می پذیرد.

آزمایشگر باوزنه های ثابت Dead weight tester

این دستگاه هم به عنوان اندازه گیر فشار وهم بعنوان دستگاه کالیبره کننده دیگر ابزار اندازه گیری فشار استفاده می شود.

این وسیله شامل یک تولید کننده فشار هیدرولیک توسط یک پمپ دستی ، مخزن روغن هیدرولیک ، شیریکطرفه ، پیستون حساس ، لوله های رلبط ووزنه های با وزن استاندارد می باشد. برای بکاری گیری این دستگاه ابتدا برروی پیستون عمودی که برروی یک سیلندر قرار گرفته میزان وزنه مورد نیاز جهت ایجاد فشار مورد نظر راقرار داده (روی پیستون ووزنه ها میزان فشار معادل با آن نوشته شده است) وگیج یا ابزار دیگر به محل اتصال مربوطه که هدر شکل مشخص شده است را به دستگاه متصل می کنیم . با تولید فشار توسط پمپ هرگاه فشار هیدرولیک مدار دستگاه به اندازه ای برسد که بتواند بر وزن وزنه ها غلبه کند پیستون به سمت بالا حرکت کرده وابتدا به خط شاخص می رسد که نشان دهنده رسیدن به فشار مورد نظر است (این امر به این دلیل است که فشار هیدرواستاتیکی ایجاد شده توسط پمپ در تمامی مدار هیدرولیکی دستگاه یکسان بوده واز رابطه $p=f1/A1=A2$ پیروی می کند) و اگر فشار از این حد بیشتر گردد، شاخص دوم که نشان دهنده تجاوز از فشار مورد نظرمی باشد ظاهر خواهد شد . این دستگاه بسیار حساس بوده و باید با احتیاط حمل و نقل گردد. یکی از موارد مهم کاربرد این دستگاه در تست نشتی شبکه می باشد که ابتدا فشار خط را تا میزان استاندارد بالا برده و پس از زمان معین نباید دستگاه افت فشاری بیش از حد استاندارد را نشان دهد.

آزمایشگر باوزنه های ثابت Dead weight tester

آزمایشگر باوزنه های ثابت Dead weight tester

تا اینجا در مورد ابزار مکانیکی اندازه گیری فشار بحث شد در حالیکه سه دستگاه زیر بصورت الکتریکی فشار را اندازه می گیرند. بر ای آشنایی با این دستگاه ها نیاز به آشنایی با مفاهیم زیر می باشد :

* ترانسmitter: Transmitter وسیله ایست که تغییرات یک کمیت رابه محلی دورتر ارسا می نماید.
* دریافت کننده : reciver نقش گیرنده رابازی می کند.

*ترانسد یوسر : Transducer وسیله ای است که تغییرات یک کمیت را از نوعی به نوع دیگر تغییر داده و ارسال می نماید.

*پیزوالکتریکها : موادی هستند که بافشرده شدن ، از خود مقدار کمی ولتاژ ایجاد میکنند و از آنها برای ساخت ترانسدیوسرها استفاده می کنند.

*پل وتستون : شامل یک مدار چهار مقاومتی است که یکی از آنها رئوستا می باشد.

استفاده از ترانسفورماتور پیزوالکتریک

میزان تغییرات حرارت ، سطح سیالات LEVEL و فشار آنها توسط تغییر تغییر فشار اعمالی به این ابزار بصورت سینگنالی الکتریکی به دستگاه های گیرنده مورد نظر فرستاده می شود.

استفاده از پل وتستون

در این وسیله رئوستا به یک المنت اولیه متصل بوده وبامکانیزم خاص ، باتغییر کمیت (حرارت،فشار،...) مقاومت رئوستا تغییر کرده است واین تغییرات مقاومت بالانس پل رابهم زده ودر خروجی آن ولتاژی جاری می گردد که این ولتاژ نماینده فشار مورد اندازه گیری می باشد

در آزمایشگاه از فشارسنجی نظیر فشارسنجی که در شکل زیر مشاهده می شود استفاده گردید و داده های مربوطه در جدول زیر ثبت شد:



نتایج:

	خود پیستون 1kg	2kg	2.5kg	3kg	3.5kg
رفت (Psi)	3.8	7.8	9.8	12	13.8
برگشت (Psi)	4	8	9.8	11.2	-----
فشار واقعی (Psi)	3.71	7.43	9.28	11.14	13
درصد خطای رفت	2.42	4.98	5.6	7.72	6.15
درصد خطای برگشت	6.82	7.67	5.6	-1.75	-----

فشار سنج بوردون فشار گیج را نشان می دهد.

5.37=درصد خطای متوسط رفت

5.46=درصد خطای متوسط برگشت

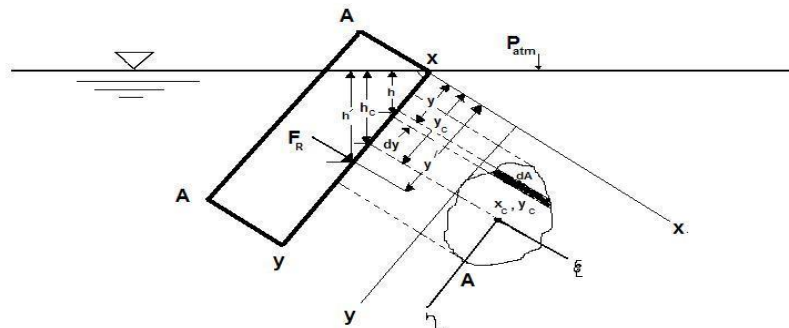
نیروی هیدرو استاتیک وارده به سطوح مسطح غوطه ور در سیال غیر قابل تراکم

در این آزمایش ما توانستیم برای جسم چنبره ای شکل، دو حالت استغراق کامل و ناقص را در مقیاس آزمایشگاهی شبیه سازی کنیم و ممان اینرسی و فشار وارده بر سطح و جسم چنبره ای شکل و می توان گفت که در کل توانستیم نیروهای وارده به جسم شناور را طبق فرمولهای زیر بر اساس پایین آوردن سطح آب داخل محفظه شیشه ای، حساب کنیم.

مقدمه (Introduction) :

- بررسی نیروی هیدرو استاتیک وارده به سطوح مسطح غوطه ور در سیال غیر قابل تراکم:

در شکل زیر صفحه مایلی نشان داده شده که می خواهیم برآیند نیروی هیدرو استاتیک وارده به سطوح فوقانی آن را بدست آوریم. چون هیچگونه تنش برشی وجود ندارد این نیرو باید بر سطوح عمود باشد. به منظور انجام محاسبات سطح صفحه غوطه ور را ادامه میدهیم تا سطح آزاد آب را قطع کند. خط اثر محل تلاقی صفحه و سطح آزاد را محور X ها میگیریم. توجه میکنیم که محور Y با سطح فوقانی صفحه مسطح هم صفحه است. میدانیم که بطور همزمان 2 فشار به صفحه وارد می شود. یکی فشار یکنواخت P_{atm} ناشی از فشار اتمسفر و دیگری فشار ناشی از نیروی جاذبه وارده به مایع که بطور خطی افزایش می یابد.



برآیند نیروهای ناشی از فشار یکنواخت P_{atm} برابر $P_{atm} \times A$ بوده و در مرکز سطح صفحه وارد می شود. حال نیرویی را که ناشی از فشاری است که بطور یکنواخت افزایش می یابد حساب می کنیم. تمام نقاط نوار انتخابی dA عمق یکسان داشته و در نتیجه تحت یک فشار یکنواخت هستند. مقدار نیروی وارده به نوار برابر $\gamma h dA$ خواهد بود. برای یافتن نیروی برآیند روی سطح صفحه انتگرال گیری می کنیم.

$$F_R = \int_A \gamma h dA = \int_A \gamma y \sin \theta = \gamma \sin \theta \int_A y dA$$

میدانیم که $\int_A y dA$ ممان استاتیکی سطح حول محور x هاست و میتوان بجای آن $A y_c$ را قرار داد

بنابراین:

$$F_R = \gamma \sin \theta y_c A = \gamma h_c A = P_c A$$

حال می خواهیم محل اثر F_R یعنی y' را بدست آوریم. داریم:

$$F_R \bar{y} = \int_A \gamma h y dA$$

$$(\gamma h_c A) \bar{y} = \int_A \gamma y^2 \sin \theta dA = \gamma \sin \theta \int_A y^2 dA$$

با جایگذاری به جای h_c و با توجه به اینکه $\int_A y^2 dA = I_{xx}$ است داریم:

$$\gamma y_c \sin \theta \bar{y} = \gamma \sin \theta I_{xx} \quad , \quad \bar{y} = \frac{I_{xx}}{A y_c}$$

که در رابطه فوق I_{xx} ممان دوم سطح حول محور X هاست می توان به جای I_{xx} نوشت :

$$I_{xx} = I_{\xi\xi} + A y_c^2$$

که $I_{\xi\xi}$ ممان دو قطبی دوم سطح نسبت به محورهایی است که از مرکز سطح به موازات محورهای xy

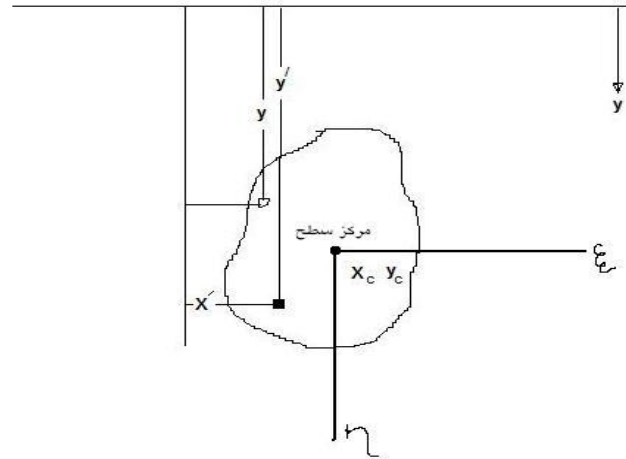
رسم شده اند. بنابراین :

$$\bar{y} = y_c + \frac{I_{\xi\xi}}{A y_c}$$

نقطه اثر نیروی برآیند وارده به سطح غوطه ور را مرکز فشار می نامند چون همیشه مقدار $\frac{I_{\xi\xi}}{A y_c}$ مثبت

است همواره مرکز فشار زیر مرکز سطح قرار دارد. حال می خواهیم فاصله نقطه اثر نیروی برآیند از

محور y را بدست آوریم. برای وضوح نمای قائم AA از شکل قبلی، شکل زیر را رسم می کنیم.



$\bar{x}'\bar{y}'$ مختصات مرکز فشار هستند که \bar{y}' قبلاً بدست آمد. برای محاسبه \bar{x}' لنگر نیروی برآیند و لنگر توزیع فشار نسبت به محور y را با هم مساوی قرار می دهیم :

$$(F_R)\bar{x}' = \int_A x\gamma(y \sin \theta)dA = \gamma \sin \theta \int_A xydA$$

با جایگذاری به جای F_R :

$$(\gamma y_c \sin \theta)\bar{x}' = \gamma \sin \theta I_{xy} \quad , \quad \bar{x}' = \frac{I_{xy}}{Ay}$$

که I_{xy} حاصلضرب اینرسی نسبت به دستگاه xy است.

حال محوره‌های ξ و η را در نظر می گیریم که از مرکز سطح به موازات x و y رسم شده اند.

فرمول تبدیل حاصلضرب اینرسی به صورت زیر است:

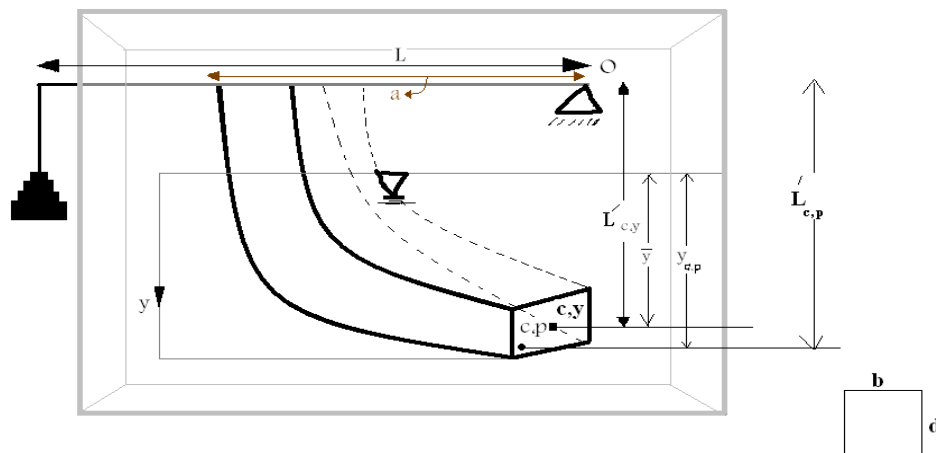
$$I_{xy} = I_{\xi\eta} + Ax_c y_c \longrightarrow x = x_c + \frac{I_{\xi\eta}}{Ay_c}$$

بایستی به خاطر داشت که $I_{\xi\eta}$ ممان دوم سطح حول محورهایی است که از مرکز سطح می گذرد و به ترتیب موازی و عمود بر خط اثر صفحه و سطح آزاد می باشند.

کارهای عملی یا تجربی (Experimental Procedures)

شرایط آزمایشگاه: دما 21°C - رطوبت: 57% - فشار: 642 mmHg

حال ما در این آزمایش به جای سطح غوطه ور، سطح قائمی را در نظر می گیریم که یکبار بطور کامل زیر سطح سیال غیر قابل تراکم قرار دارد و بار دیگر بطور غیر کامل در سیال مستغرق است. به این سطح در خارج از آن وزنه ای برای حفظ تعادل متصل است. شکل پایین گویای این توضیحات است:



الف) برای حالت استغراق کامل ($y > d$):

$$F_h = \gamma \bar{h}(b \cdot d) , \quad \bar{y} = y - d/2$$

$$I_{cp} = I_{cy} + \frac{I_G}{\bar{y}.A} = a + d/2 + \frac{bd^3}{2\bar{y}bd} \longrightarrow I_{cp} = a + d/2 + \frac{d^2}{12\bar{y}}$$

تعداد استاتیکی :

$$\sum M_o = 0 \implies mg \times l = \rho g \bar{y}(b.d) \times I_{cp}$$

$$m.l = \rho \bar{y}(b.d) \times \left(a + d/2 + \frac{d^2}{12\bar{y}} \right)$$

$$\frac{m}{\bar{y}} = \frac{\rho(b.d)}{l} \left(a + d/2 + \frac{d^2}{12\bar{y}} \right) \implies \frac{m}{\bar{y}} = f\left(\frac{1}{\bar{y}}\right)$$

(ب) برای حالت استغراق ناقص ($y < d$):

$$F_h = \gamma \bar{y}(b.y) \quad , \quad I_{cp} = I_{cg} + \frac{I_G}{\bar{y}(bd)}$$

$$I_{cg} = a + \left(d - \frac{y}{2} \right) + \frac{by^3}{12\bar{y}(by)} \quad , \quad I_{cg} = a + d - y/3$$

تعداد استاتیکی :

$$\sum M_o = 0 \implies mg \times l = F_h \times I_{cp} = \rho g y/2 (by) \times (a + d - y/3)$$

$$\frac{m}{y^2} = \frac{\rho y b}{2l} \left(a + d - y/3 \right) \implies \frac{m}{y^2} = f(y)$$

نتایج و بحث (Result and Discussion):

با استفاده از روابطی که گفته شد آزمایش را برای m های مختلف تکرار کرده و در هر مرحله رابطه آن

را با y بدست می آوریم سپس جدولی را ترتیب داده و در آخر نمودار $(\frac{m}{\bar{y}} - \frac{1}{\bar{y}})$ را برای استغراق کامل

و $(\frac{m}{y^2} - y)$ را برای استغراق ناقص رسم کرده و دو حالت نظری و تجربی را با هم مقایسه می کنیم.

الف) استغراق کامل:

m (gr)	l_{cp} (cm)	y (cm)	$\bar{y}_{\text{تجربی}}$ (cm)	$\bar{y}_{\text{نظری}}$ (cm)	$(\frac{m}{\bar{y}})_{\text{تجربی}}$ (gr/cm)	$(\frac{1}{\bar{y}})_{\text{تجربی}}$ (cm ⁻¹)	$(\frac{m}{\bar{y}})_{\text{نظری}}$ gr/cm	$(\frac{1}{\bar{y}})_{\text{نظری}}$ (cm ⁻¹)
430	15.78	15.7	10.7	9.970	40.19	0.093	40.103	0.1002
420	15.79	15.5	10.5	9.732	40.00	0.095	43.156	0.1027
400	15.83	15.0	10.0	9.242	40.00	0.100	43.280	0.1082
350	15.94	13.8	8.80	8.017	39.77	0.114	43.657	0.1247
300	16.11	12.5	7.50	6.792	40.00	0.133	44.169	0.1472
250	16.43	10.8	5.18	5.590	43.10	0.170	44.723	0.1788

200	16.85	9.5	4.36	4.360	45.87	0.230	45.872	0.2293
-----	-------	-----	------	-------	-------	-------	--------	--------

که در جدول بالا $y = \bar{y} + \frac{d}{2}$ و y : فاصله ی سطح آب تا ته جسم و فاصله ی سطح آب تا مرکز ثقل را \bar{y} گویند.

$$\hat{l}_{cp} = a + \frac{d}{2} + \frac{d^2}{12\bar{y}} \quad \text{تجربی}$$

$$\frac{m}{\bar{y}} = \frac{\rho b d}{l} \left(a + \frac{d}{2} + \frac{d^2}{12\bar{y}} \right) \quad \text{نظری}$$

(ب) استغراق ناقص:

m (gr)	\hat{l}_{cp} (cm)	y تجربی (cm)	\bar{y} تجربی (cm)	\bar{y} نظری (cm)	$\left(\frac{m}{y^2}\right)$ تجربی (gr/cm ²)	$\left(\frac{m}{y^2}\right)$ نظری (gr/cm ²)	y نظری (cm)
150	12.133	8.6	4.30	3.985	2.028	2.361	7.97
100	12.83	6.5	3.25	3.207	2.367	2.433	6.41
50	13.467	4.6	2.3	2.231	2.363	2.513	4.45

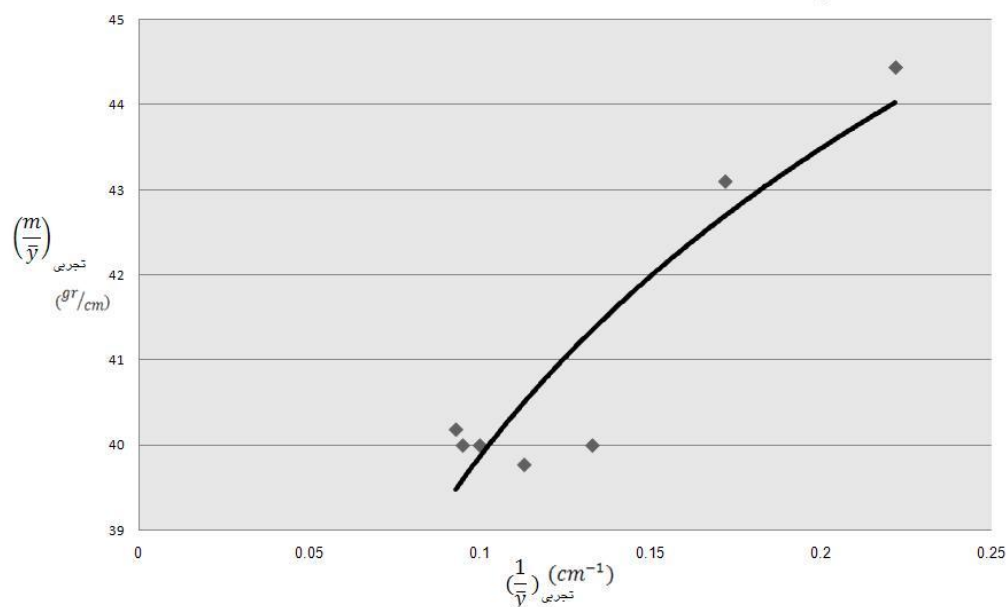
$$\frac{m}{y^2} = \frac{\rho b}{2l} \left(a + d - \frac{y}{3} \right) \text{ و } \hat{l}_{cp} = a + \frac{d}{2} - \frac{y}{3}$$

که در جدول بالا

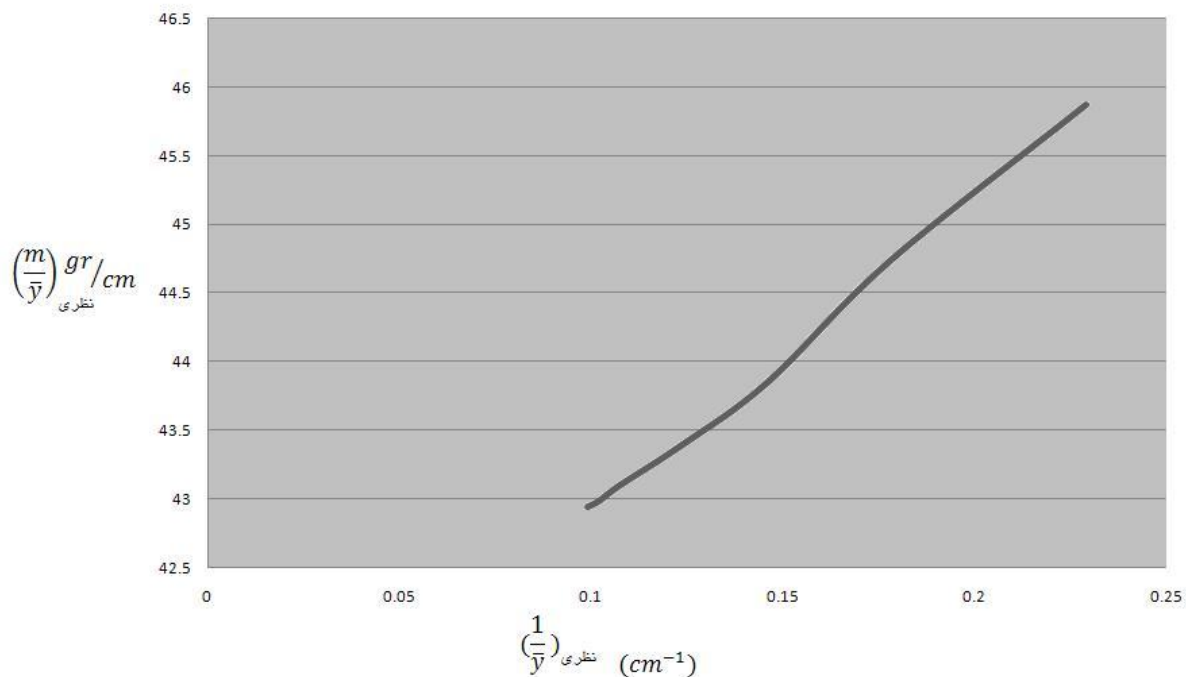
مراجع (References):

مکانیک سیالات استریتنر

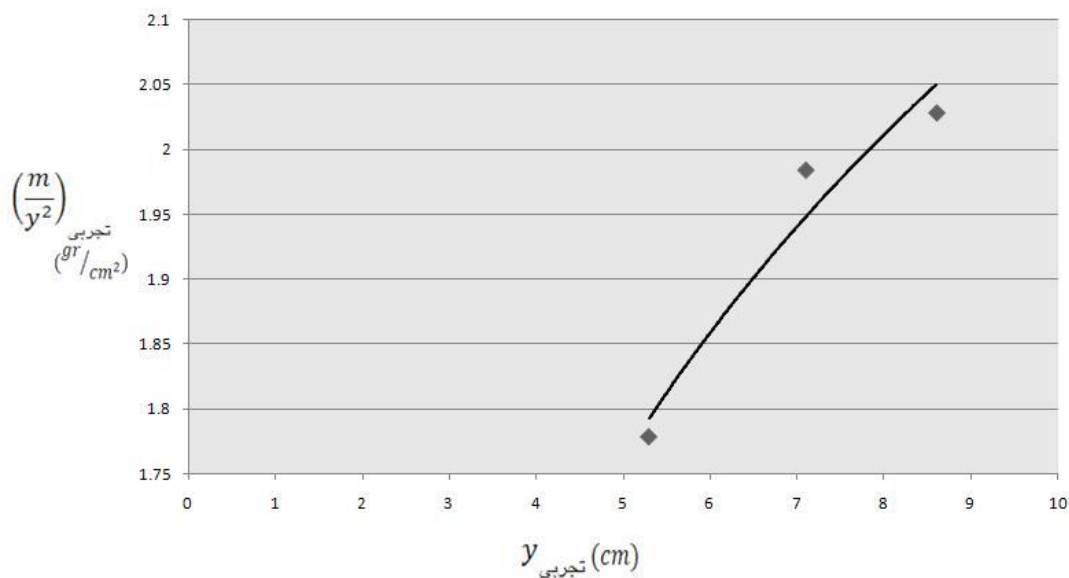
نمودار تجربی برای حالت استغراق کامل



نمودار نظری برای حالت استغراق کامل



نمودار تجربی برای استغراق ناقص



نمودار نظری استغراق ناقص

