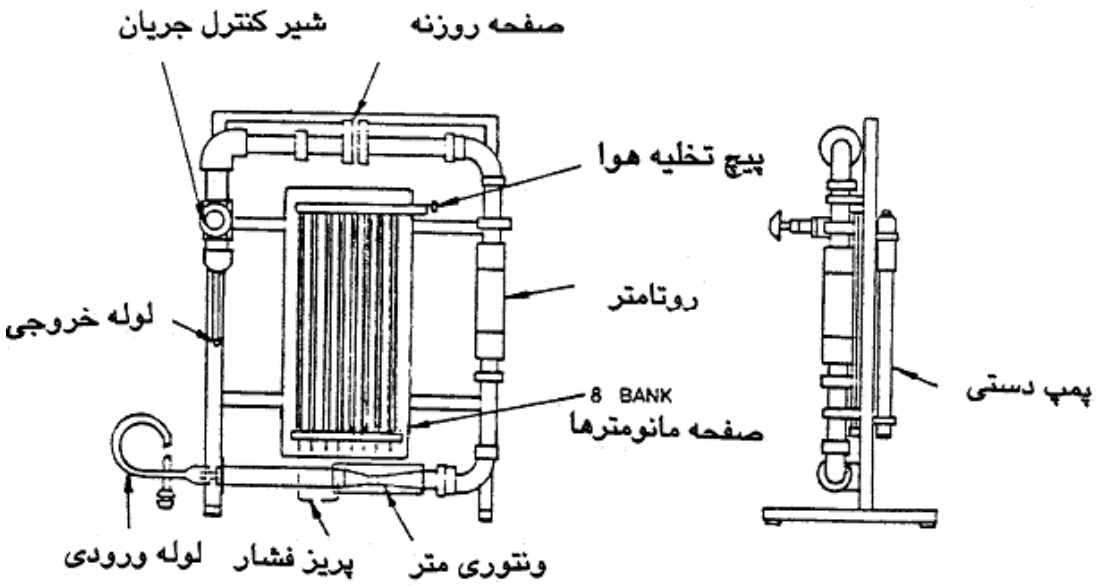
Flow Meter Demonstration

دستگاه نمایش جریان سنجی



تئوری:

برای ونتوری متر و صفحه روزنه معادله اساسی برنولی به فرم زیر ساده سازی می گردد:

$$Q = C_d . A_2 \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]^{\frac{-1}{2}} 2g \left(\frac{P_1 - P_2}{\delta} \right)^{\frac{1}{2}}$$

برای ونتوریمتر و روزنه مقادیر زیر کاربرد دارند:

برای ونتوریمتر $C_D = 0.98$

برای صفحه روزنه $C_D = 0.63$

روش آزمایش:

پس از اطمینان از اتصال مناسب دستگاه به خروجی میز هیدرولیک و تخلیه خروجی دستگاه به تانک حجمی، شیر فلکه خروجی جریان را کاملاً باز نموده و نیز شیر کنترل جریان را باز نگهدارید، جهت متفرق شدن هوا از صفحه روزنه شیر کنترل جریان را باز و بسته نموده، شیر کنترل جریان را مسدود، پیچ ورود هوای فشرده را باز نموده و مانومتر و پریزهای فشار را در معرض تماس با آب قرار دهید. پیچ هوادهی را ببندید. سطوح مانومترها با کاربرد پیچ هوای فشرده یا پمپ دستی می تواند بالا یا پایین برده شود. شیر کنترل جریان را مادامی که حداکثر مقادیر در مانومتر قرائت می گردد کاملاً باز نگهدارید.

به قرائت های مربوط به مانومترها، روتامتر و دبی های اندازه گیری شده دقت کنید.

در موقعیت های مختلفی از بازشدگی شیر فلکه آزمایش را تکرار کنید. جهت نمایش دبی های جریانی مشابه در فشارهای استاتیک مختلف سیستم میز و شیر کنترل جریان را با تنظیم سطوح مانومتر به فرم مورد نظر تواماً تنظیم نمایید.

نتایج و محاسبات:

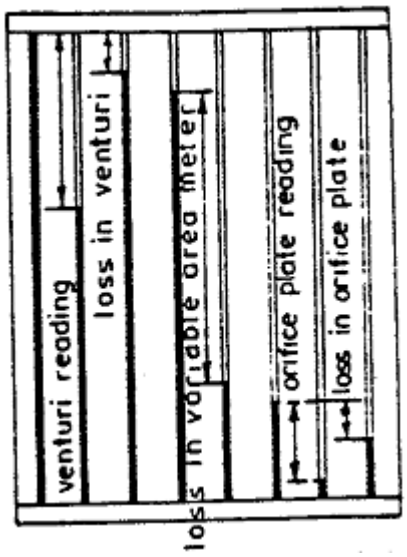
از قرائت صفحه مانومتر نتایج زیر حاصل می شود:
قرائت مربوط به ونتوریمتر: مانومترهای شماره ۱ و ۲.
افت در ونتوریمتر:مانومترهای شماره ۱ و ۳

افت در روتامتر: مانومترهای شماره ۴ و ۵

قرائت مربوط به صفحه روزنه: مانومترهای شماره ۶ و ۷.

افت در صفحه روزنه: مانومترهای شماره ۷ و ۸.

این مقادیر در شکل زیر به صورت نموداری نشان داده شده اند:



توزیع سطوح مانومتر (درحال نمایش حداکثر دبی)

از قرائت های حاصله در مورد ونتوریمتر و صفحه روزنه دبی جریان حجمی را با کاربرد معادله اساسی به ازای عامل C_D مربوطه به دست آورده و مقادیر محاسبه شده را با قرائت مربوط به روتامتر و دبی جریان تعیین شده با استفاده از میز هیدرولیک حجمی، مقایسه نموده و افت در هر وسیله اندازه گیری در ارتباط با دبی جریان حجمی مقایسه می شود.

افت در هر وسیله اندازه گیری در ارتباط با دبی جریان حجمی مقایسه شده و افت در ونتوریمتر و صفحه روزنه با ارتفاع نظیر سرعت می تواند مرتبط شود.

داده های فنی:

برای ونتوریمتر:

قطر بالادست: 31.75 mm

قطر گلوگاه: 15 میلیمتر

زاویه بالادست: 21 درجه

زاویه پایین دست: 14 درجه

برای صفحه روزنه:

قطر بالادست: 31.75 mm

قطر روزنه: 20 mm

آزمایش دبی سنجی:

هدف:

توصیف سه نوع اساسی از دبی سنجها، تعیین دبی به کمک روتامتر، ونتوریمتر و صفحه روزنه و مقایسه انها با مقدار حجمی.

وسایل لازم:

دستگاه نمایش دبی سنجی، کرنومتر، میز هیدرولیک.

تئوری آزمایش:

در دستگاه ها و سیستم های مختلف اعم ازباز و بسته که به نوعی با جریان سیال در ارتباط هستند، عموما" لازم است که میزان سیال عبوری از یک محل اندازه گیری شود. اندازه گیری میزان جریان آب، نفت و گاز در لوله ها یا کانال ها را می توان به عنوان نمونه های بارز برشمرد.

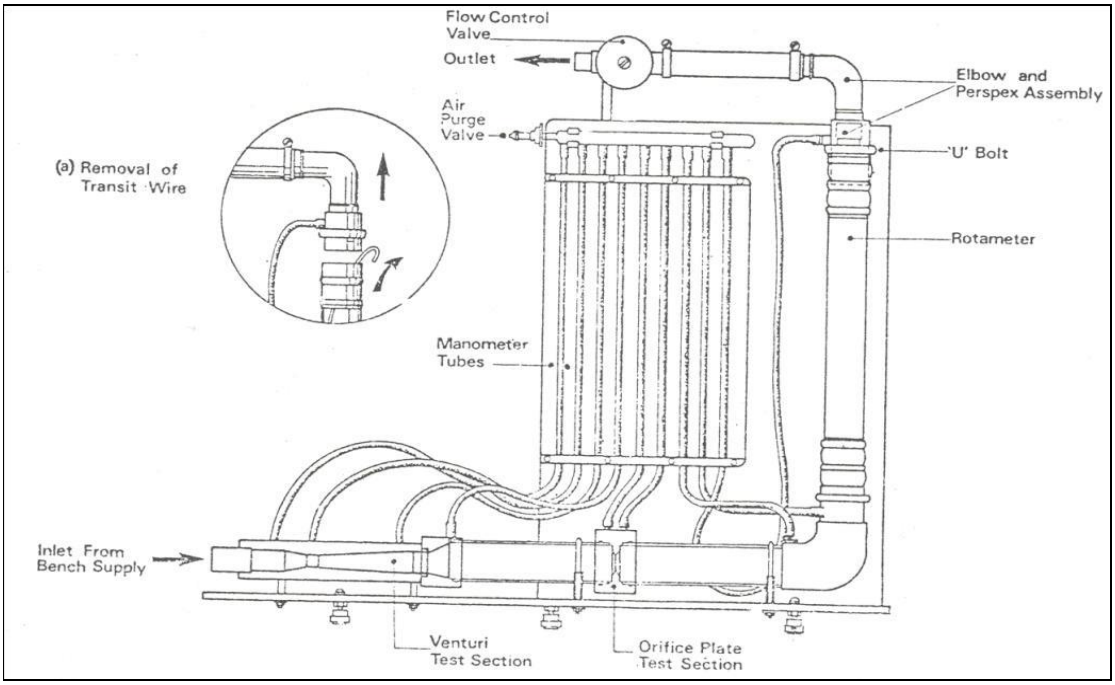
دبی سنج وسیله ای است که با اندازه گیری یک کمیت مقدار (وزن یا حجم) سیال عبوری از یک مقطع را در واحد زمان اندازه گیری می نماید. از انواع دبی سنج ها می توان اریفیس (روزنه)، شیپوره، لوله ونتوری، روتامتر و سرریز را نام برد.

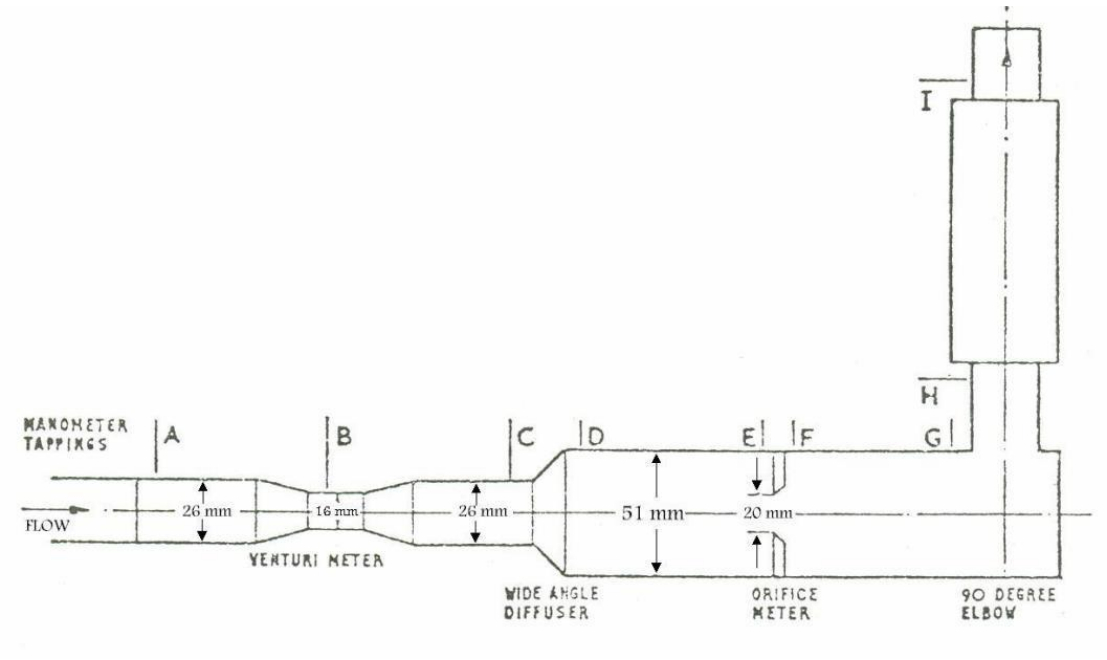
روش های متنوعی جهت اندازه گیری شدت جریان سیال یا دبی وجود دارد. شاید بتوان گفت که ساده ترین راه اندازه گیری دبی، سنجش حجم یا وزن سیال عبوری در مدت زمان مشخص است که روش اول را دبی سنجی حجمی و روش دوم را دبی سنجی وزنی می نامیم. در دبی سنج های حجمی و وزنی مدت زمان لازم برای پر شدن ظرفی با حجم یا وزن مشخص اندازه گیری می شود و با استفاده از روابط زیر میزان دبی محاسبه می شود:

$$Q = \frac{w/\rho g}{t} \quad or \quad Q = \frac{V}{t}$$

در روابط فوق، t زمان پر شدن ظرف، V حجم سیال پرشده داخل ظرف، W وزن سیال پر شده داخل ظرف و ρ وزن مخصوص سیال و Q دبی جریان می باشد.

در این آزمایش با پنج وسیله مختلف اندازه گیری شدت جریان در لوله ها آشنا می شویم. این وسایل عبارتند از: ونتوری متر، پخش کننده (Diffuser) یا بازشدگی، روزنه (Orifice)، زانویی یا خم (Bend or Elbow)، و دوارسنج (Rotameter). در شکل های زیر مشخصات وسیله آزمایشی به صورت شماتیک ارائه گردیده است:





جهت محاسبه دبی از چهار روش اول مذکور در فوق از حل هم زمان معادلات انرژی و پیوستگی استفاده می کنیم. اگر رابطه برنولی را با فرض عدم تلفات انرژی بین دو مقطع متوالی 1و2 بنویسیم (بعنوان مثال بین مقطع A و B در شکل خواهیم داشت:

$$\frac{p_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1=\frac{p_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2$$

رابطه پیوستگی بین دو مقطع 1 و 2 نیز به صورت زیر می باشد:

$$Q=A_1V_1=A_2V_2$$

با ترکیب دو رابطه (2) و (3) خواهیم داشت:

$$Q=\left[\frac{2gA_2^2}{1-(A_2/A_1)^2}(Z_1+\frac{p_1}{\gamma}-Z_2-\frac{p_2}{\gamma})\right]^{\frac{1}{2}}=\left[\frac{2gA_2^2(h_1-h_2)}{1-(A_2/A_1)^2}\right]^{\frac{1}{2}}$$

در رابطه فوق h مقدار ارتفاع نظیر فشار نسبت به سطح مبنا می باشد. ($h = Z - p / \gamma$) که مقدار نسبی آن از لوله پیزومتر قابل خواندن است.

برای تعیین دبی با استفاده از ونتوری متر و صفحه روزنه از معادله برنولی به صورت زیر به دست می آید:

$$E_1 = E_2$$

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{Q^2}{2gA_1^2} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{Q^2}{2gA_2^2} + \Delta h$$

با صرف نظر کردن از افت Δh مقدار دبی تئوریک به صورت زیر می باشد:

$$\frac{Q^2}{2g}\left[\frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2}\right] = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

$$Q = A_2\left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]^{\frac{-1}{2}}\sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

بدون صرف نظر از افت انرژی و با تعریف ضریب تخلیه C_d و اندازه گیری مقدار دبی واقعی Q' داریم:

$$Q' = A_2\left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]^{\frac{-1}{2}}\sqrt{2g(h_1 - h_2) - \Delta h}$$

$$Q' \cong C_d A_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \qquad C_d = \frac{Q'}{Q}$$

A_1 و A_2 به ترتیب عبارتند از مساحت دو مقطع مورد بررسی در معادله برنولی. در این آزمایش ضریب تخلیه برای ونتوریمتر برابر است با $C_d \approx 0.98$ و برای صفحه روزنه $C_d \approx 0.63$.

بخش عمده تلفات انرژی در ونتوریمتر در قسمت واگرایی که انرژی جنبشی تبدیل به انرژی در ونتوریمتر در قسمت واگرایی که انرژی جنبشی تبدیل به انرژی فشاری می شود اتفاق می افتد.

تئوری مربوط به افت انرژی در هر قسمت و تعیین ضرایب افت :

در روزنه و خم، مقدار تلفات انرژی قابل توجه بوده و اگر ار آن صرفنظر شود خطای قابل ملاحظه ای در اندازه گیری بوجود می آید. در عمل از ضریب تصحیح استفاده می شود که برای هر یک از دستگاه ها با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$K = \frac{Q_m}{Q_c}$$

که در آن Q_c دبی محاسبه شده از رابطه و Q_m دبی اندازه گیری شده واقعی می باشد. مقدار K عموما" تابع شکل و مشخصات دستگاه و میزان دبی و مشخصات سیال عبوری است.

به کمک رابطه برنولی می توان مقدار افت انرژی در هر قسمت را محاسبه نمود. از طرف دیگر معمولاً افت انرژی را بصورت مضربی از انرژی جنبشی ورودی به آن قسمت به صورت رابطه زیر نشان میدهد.

$$\Delta H_{mn} = K \frac{V_m^{\ 2}}{2g}$$

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

الف- ونتوری متر :

به کمک رابطه برنولی و با صرفنظر کردن از افت انرژی بین مقاطع ورودی و گلوگاه ونتوری میتوان رابطه زیر را جهت محاسبه دبی در ونتوری بکار برد.

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

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

نظر به اینکه قطر ونتوری در مقاطع ورودی و خروجی آن برابر است، لذا افت انرژی آن از رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta H_{AC} = h_A - h_C$$

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

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

به کمک دو رابطه فوق می توان ضریب افت انرژی ونتوری را از رابطه زیر بدست آورد.

ب- دیفیوزر (انبساط مخروطی) :

به کمک معادله برنولی افت انرژی در انبساط مخروطی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

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

ضمناً بعلت مساوی بودن قطر ورودی و خروجی، انرژی جنبشی آنها هم یکسان است. پس به سهولت می توان ضریب افت آن را از رابطه زیر بدست آورد.

$$K = \frac{\Delta H_{CD}}{V_C{}^2 / 2g}$$

ج- اوریفیس متر :

به علت شکل خاص اوریفیس متر که بین مقاطع F و E نصب شده است افت انرژی جزئی نیست و نمی توان در بکاربردن رابطه برنولی از آن صرفنظر نمود. نظر به اینکه اختلاف ارتفاع پیزومترهای E و F خود ناشی از افت انرژی بین این مقاطع هم می باشد. لذا می توان به کمک رابطه برنولی نتیجه گرفت که :

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

در آن K به نام ضریب تخلیه دستگاه می باشد و برای اوریفیس خاص نصب شده روی دستگاه مقدار آن برابر با 0.601 می باشد.

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

$$\Delta H_{EF} = h_E - h_F$$

حال با تعیین این مقادیر میتوان ضریب افت انرژی در اوریفیس متر را بدست آورد.

د – زانوئی ۹۰ درجه :

به کمک رابطه برنولی بین نقاط G و H (ورودی و خروجی زانوئی و همچنین رابطه تعادلی در لوله های پیزومتری- فشار در روی سطح مایع در لوله های G و H یکسان است)، می توان افت انرژی در زانوئی با قطر تبدیلی را از رابطه (14) بدست آورد.

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

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

هـ – روتامتر :

دوارسنج از یک لوله شفاف با قطر متغیر و وزنه ای مخروطی شکل در داخل آن تشکیل شده است. وقتی سیال جریان ندارد وزنه مخروطی در پایین ترین وضعیت قرار داشته و هیچگونه فاصله بین وزنه

و جداره های لوله وجود ندارد. هنگامی که جریان سیال برقرار است در اثر نیروی وارده و لزوم وجود راهی جهت عبور آب، وزنه مخروطی به سمت بالا حرکت می کند. وزنه تا جایی بالا می رود که نیروهای وزن، شناوری و نیروی ناشی از حرکت سیال با یکدیگر در حالت تعادل باشند. نیروی وارده به وزنه در اثر جریان آب را نیروی دراگ نامیده شده و به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$F_D = C_D A \frac{\rho V^2}{2}$$

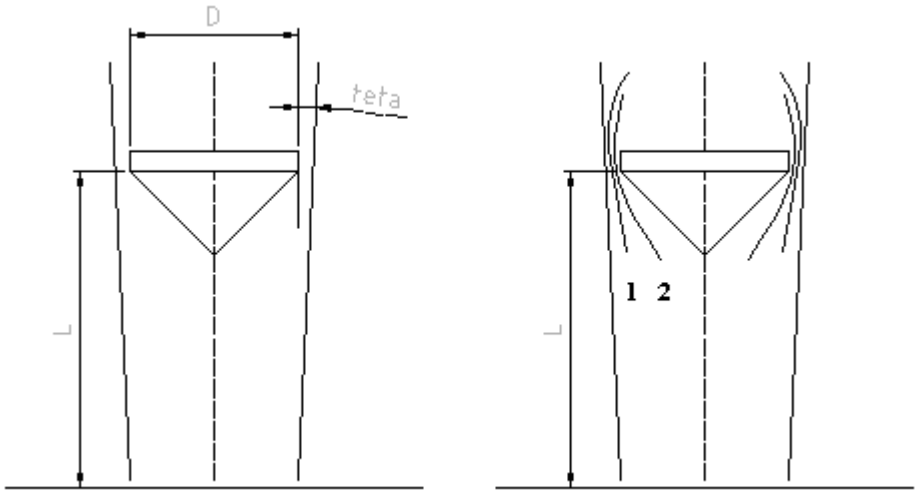
که در آن C_D ضریب کشش (Drag Coefficient)، ρ چگالی، A سطح مقطع وزنه در مقابل آب و V سرعت متوسط سیال است. نیروی وزن و نیروی شناوری مقداری ثابت و تابع جنس و شکل وزنه می باشد. پس از ساخت دوارسنج ها، آنها را مدرج کرده و در کارخانه کالیبره (یا واسنجی) می کنند. بدین معنی که دبی جریان را با وسیله مطمئن دیگری اندازه گیری کرده و برای هر ارتفاع از وزنه عدد مربوطه را یادداشت می کنند. نتایج نهایی به صورت نمودارهایی مطابق شکل ارائه می گردد. طبیعتا" نمودار مربوط به هر دستگاه باید به صورت مستقل تهیه شود. شکل مربوط به دستگاه این آزمایش می باشد.

با انتخاب حجم کنترلی مطابق شکل که شامل مخروط شناور باشد وبا به کاربردن رابطه برنولی و تغییرات مقدار حرکت بین مقاطع 1 و 2 می توان نتیجه گرفت که افت انرژی بین این دو مقطع مقداری است ثابت و به L (محل قرارگرفتن شناور) بستگی ندارد. از طرف دیگر چون این افت به سرعت سیال در اطراف شناور بستگی دارد پس می توان نتیجه گرفت که سرعت سیال در اطراف

شناور هم ثابت است. اگر مقدار سرعت سیال را با V و سطح مقطع گذر سیال را با A_f نشان دهیم میتوان مقدار دبی سیال را از رابطه زیر که در آن θ بر حسب رادیان است بدست آورد.

$$Q = A_f.V = \pi D_f L\theta V$$

$$Q = (\pi D_f \theta V)L$$



در شکل مشاهده می شود که مقدار دبی در روتامتر به L به صورت خطی بستگی دارد.

افت انرژی در روتامتر از رابطه زیرقابل مقایسه است.

$$\Delta H_{HI} = h_H - h_I$$

با نگاهی اجمالی در نتایج آزمایش می توان دریافت که افت انرژی در روتامتر مستقل از دبی است و مقدار ثابتی می باشد.

با توجه به قطر ورودی روتامتر می توان دریافت که انرژی جنبشی ورودی آن برابر با انرژی جنبشی ورودی ونتوری متر است.

نحوه آزمایش:

1- قبل از شروع آزمایش و اندازه گیری دقت کنید که هیچ حباب هوایی در داخل دستگاه آزمایش و پیزومترها نباشد. در صورت وجود حباب، شیرهای ابتدا و انتهای دستگاه را کاملا" باز کنید تا حباب ها به همراه جریان خارج شوند. همچنین می توان با بازکردن پیچ بالای پیزومترها حباب ها را خارج کرد. جهت تسریع در خروج حباب ها به آرامی ضرباتی با انگشت به قسمت های مختلف دستگاه بزنید. (دستگاه را به خروجی میز هیدرولیک و تخلیه خروجی دستگاه را به تانک حجمی وصل می کنیم. شیر فلکه خروجی جریان را کاملاً باز می کنیم. سپس شیر کنترل جریان را باز و بسته می کنیم تا هوا از صفحه روزنه کاملا خارج شود. پیچ هوادهی را بسته و شیر کنترل را مسدود می کنیم. با استفاده از پمپ دستی هوای فشرده وارد مانومترها می کنیم.)

برخی از ابعاد لازم جهت انجام محاسبات در شکل دستگاه درج شده است.

2- پس از آماده شدن، پمپ دستگاه را روشن کرده و شیر دو طرف را کاملا″ باز نمایید و برای دبی حداکثر ارتفاع آب در پیزومترهای A تا I و ارتفاع مخروط دوارسنج(یعنی ارتفاع سطح بالای مخروط) را قرائت نموده، یادداشت و ارتفاع آب در کلیه پیزومترها باید در محدوده مدرج شده واقع شوند. دبی جریان را به طریقه حجمی نیز اندازه بگیرید.(توسط میز آزمایشگاهی)

(سپس شیر خروجی جریان را باز می کنیم تا سطح آب در روتامتر تغییر کند و همزمان با آن شیر کنترل جریان را باز و بسته می کنیم تا سطح آب در مانومترها ثابت بماند. ما برای افزایش دقت در کار شیر خروجی را تا جایی باز می کنیم که سطح آب در روتامتر روی یکی از درجه های علامت گذاری شده قرار گیرد. بعد از تثبیت سطح آب در مانومترها اعداد بدست آمده را قرائت می کنیم.)

با یادداشت نمودن ارتفاع پیزومترها و مقیاس روتامتر و تعیین دبی توسط میز آزمایشگاهی می توان ضرایب افت هر قسمت ونتوری، دیفیوزر، اوریفیس، زانوئی و روتامتر را تعیین نمود.

حال با کمک توپی، خروجی کف میز هیدرولیک را می بندیم و کرنومتر را می زنیم و حجم آب تجمعی را از روی لوله شفاف مدرج میز هیدرولیک قرائت می کنیم. کل این فرآیند را برای دبی های مختلف تکرار می کنیم. لازم به تذکر است که در این حالت شیر کنترل جریان تا هنگامی که حداکثر مقادیر مانومتر را قرائت می کنیم باید کاملاً باز باشد.

3- جهت تعیین تغییرات این ضرایب با دبی بهتر است با کم کردن دبی توسط شیر خروجی دستگاه، آزمایش را در ده مرحله انجام داده و جدول را تکمیل می شود.

4- برای دستگاه های ونتوری متر، پخش کننده، روزنه و خم، اختلاف تراز آب در پیزومترهای دوطرف دستگاه، دبی محاسباتی و ضریب تصحیح دبی را برای هر یک از دبی ها محاسبه و در جدول ثبت کنید. در این جدول h_1 و h_2 تراز آب در نقاط ۱ و ۲ در دو طرف هر وسیله بوده که به ترتیب زیر قرائت می شوند:

- برای ونتوری متر در نقاط A و B

- برای پخش کننده در نقاط C و D

- برای روزنه در نقاط F و E (تذکر: برای نقطه E سطح مقطع کل لوله و برای قسمت F سطح مقطع قسمت تنگ شده روزنه را در نظر بگیرید.)

- برای خم در نقاط H و G

در جدول فوق Q_m دبی اندازه گیری شده به طریقه وزنی یا حجمی و Q_c دبی محاسبه شده با استفاده از رابطه (4) می باشد.

5- جدولی مشابه جدول بالا که حاوی یک ستون دیگر به عنوان " ارتفاع مخروط در دوارسنج (mm)" باشد، تهیه و نتایج و قرائت ها و محاسبات دوارسنج را در آن ثبت می شود.

- منحنی های زیر را ترسیم کنید:

- منحنی تغییرات $\Delta h - Q_m$ و $K - Q_m$ و بهترین خط برازش داده شده بر آنها، برای هر وسیله در یک صفحه

- منحنی تغییرات $\Delta h - Q_m$ کلیه وسایل در یک صفحه

- منحنی تغییرات $K - Q_m$ کلیه وسایل در یک صفحه

- منحنی تغییرات $\left(\frac{\Delta h}{V^2/2g}\right) - Q_m$ کلیه وسایل در یک صفحه

- منحنی تغییرات $Q_c - Q_m$ و بهترین خط برازش داده شده بر آنها، برای هر وسیله در یک صفحه

- منحنی تغییرات $Q_c - Q_m$ برای کلیه وسایل در یک صفحه

7- نتیجه گیری و برداشت شخصی خود در کنار هر یک از منحنی های ترسیم شده یادداشت شود.

نتایج و محاسبات:

بعد از انجام آزمایش و تکمیل محاسبات جدول، تغییرات دبی جرمی بدست آمده توسط میز آزمایشگاهی را بر حسب دبی جرمی بدست آمده از ونتوری متر، اوریفیس متر و روتامتر تماماً در روی مقیاس ۱ رسم نمائید نتیجه ای که از این نمودار بدست می آورید ذکر نمائید. نصب هر سه وسیله دبی سنج در تاسیسات هیدرولیکی مقایسه می شود.

مقدار ضریب سرریز را حساب کرده و منحنی تغییرات دبی و ضریب C بر حسب ارتفاع پشت سرریز رسم می گردد.

با استفاده از فرمول و با علم به اینکه مانومترهای شماره ۱ و ۲ مربوط به محاسبات دبی در ونتوریمتر و مانومترهای شماره ۱ و ۳ افت کل در ونتوری متر و مانومترهای شماره ۴ و ۵ افت کل در روتامتر و مانومترهای شماره ۶ و ۷ قرائت مربوط به صفحه روزنه و مانومترهای شماره ۷ و ۸ افت کل در صفحه روزنه را نشان می دهند، محاسبات زیر انجام شده است:

شماره آزمایش	قرائت مانومترها								روتامتر	V	T	Q
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	*(Lit/h)*	*(Lit)*	*(S)*	*(Lit/s)*
۱	۲۷۴	۲۱۴	۲۳۰	۲۲۷	۱۵۳	۱۵۴	۹۰	۱۰۴	۴۶۰	۴	۳۲	۰.۱۲۵
۲	۳۱۸	۲۴۲	۲۸۵	۲۸۲	۱۸۸	۱۹۱	۲۶	۷۳	۷۲۰	۳	۱۳	۰.۲۳۱
۳	۳۳۲	۲۷۰	۳۰۵	۳۰۰	۲۱۳	۲۱۵	۸۸	۱۲۴	۶۵۰	۳	۱۷	۰.۱۷۶
۴	۳۹۰	۳۲۴	۳۶۰	۳۵۵	۲۶۸	۲۷۲	۱۳۵	۱۷۴	۶۸۰	۳	۱۵	۰.۲۰۰

$Q_{۴}$ *(litr/h)*	$Q_{۳}$ *(litr/h)*	$Q_{۲}$ *(litr/h)*	$Q_{۱}$ *(litr/h)*	
۷۴۰	۵۸۰	۵۷۰	۴۶۰	روتامتر
۷۴۳	۷۲۰	۷۹۷	۷۰۸	ونتوری متر
۲۰۲۰	۱۹۴۵	۲۲۱۷	۱۳۸۱	صفحه روزنه
۷۲۰	۶۳۵.۲۹۴۱	۸۳۰.۷۶۹۲	۴۵۰	میز هیدرولیک

اکنون با استفاده از افت ها میزان دقیق بودن ضرایب C_d ارائه شده اولیه را بررسی می کنیم:

برای ونتوری متر:

	$(P_۱-P_۲)/\gamma$	Δh	Q	Q'	C_d
	(mm)	(mm)	(lit/h)	(lit/h)	
۱	۶۰	۴۴	۷۰۸	۶۹۵	۰.۹۸۱
۲	۷۶	۳۳	۷۹۸	۷۸۸	۰.۹۸۸
۳	۶۲	۲۷	۷۲۰	۷۱۲	۰.۹۸۹
۴	۶۶	۳۰	۷۴۳	۷۳۴	۰.۹۸۸

برای صفحه روزنه:

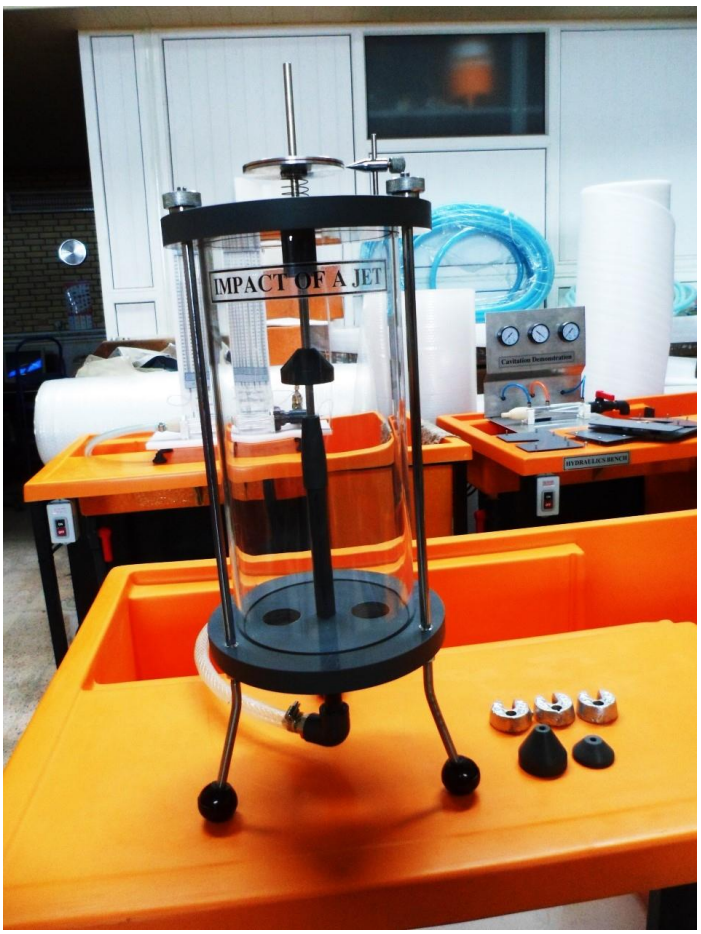
	$(P_1-P_2)/\gamma$	Δh	Q	Q'	C_d
	(mm)	(mm)	(lit/h)	(lit/h)	
۱	۶۴	۵۰	۱۳۸۱	۹۴۲	۰.۶۸۲
۲	۱۶۵	۱۱۸	۲۲۱۷	۱۵۱۸	۰.۶۸۵
۳	۱۲۷	۹۱	۱۹۴۵	۱۳۳۶	۰.۶۸۷
۴	۱۳۷	۹۸	۲۰۲۰	۱۳۷۰	۰.۶۷۸

با توجه به کیفیت مناسب دستگاه ها و با وجود خطاهای انسانی ملاحظه می شود که تغییراتی در محاسبات به وجود آمده که بر اساس تئوری قابل پیش بینی است.

C_d در ونتوری متر با مقدار داده شده در ابتدا بر اساس تئوری صحیح است و این نشان دهنده کیفیت مناسب دستگاه است، اما C_d در صفحه روزنه اختلاف محسوسی دارد که ناشی از خطای انسانی است. برای رفع این خطا باید آزمایشات با دقت عمل هرچه بیشتر و با کنترل های صحیح و بهنگام (مانند خالی کردن کامل هوای دستگاه و ...) انجام گیرد.

Impact of a Jet

ضربه جت



مقدمه :

مطالعه یک پدیده درآزمایشگاه معمولا با ابعاد واقعی آن امکان پذیرنمی باشد . مثلا اگربخواهیم جریان عبوری اززیر یک دریچه وجریان روی یک سرریز و یا نیروی واردازطرف یک جت به صفحه ای درمقابل آن رامطالعه کنیم باید مدل کوچک درآزمایشگاه ازاین پدیده ها ساخته ومورد آزمایش قراردهیم.

درساخت ومطالعه مدل آزمایشگاهی بایدشروط تشابه هندسی، تشابه دینامیکی رارعایت نمود.

در این طرح با برخورد جت آب خروجی از نازل با قطر معین به صفحات هدف با شکلهای مختلف و استفاده از جابجائی تراز شاخص امکان مطالعه نیروی دینامیک آب قابل مطالعه میباشد.

مشخصات فنی دستگاه ضربه جت:

استوانه از جنس پلکسی گلس بدون درز با ضخامت ۵ میلیمتر

قطر استوانه ۱۵۰ میلیمتر

ارتفاع استوانه ۳۱۰ میلیمتر

قطر نازل ۸ میلیمتر

شاخص صفر-صفر

تراز کروی

وزنه های ۱۰۰ گرمی

صفحات هدف با زاویه های ۹۰-۱۲۰-۱۸۰

ابزارهای دقیق اندازه گیری شامل روتامتر و ... ساخت کمپانی نیکسون انگلستان و چینی درجه یک یا طبق سفارش

صفحات و مفتولهای پلکسی گلس عمدتا اروپائی ، صفحات و مفتولهای PVC آلمانی ، اتصالات PVC ساخت آلمان و اسپانیا ، ترکیه و ایران .

الکتروپمپهای مورد استفاده عموما ساخت چین از نوع درجه یک (تحت لیسانس کمپانیهای اروپائی) یا طبق سفارش

و پیچ و مهره ها از فولاد ضد زنگ یا پوشش واترپروف می باشد .

امکانات اولیه لازم آزمایشگاه مکانیک سیالات و هیدرولیک جهت استقرار دستگاه :

۱- انجام کف سازی مناسب جهت ترازبودن دستگاهها

۲- وجود شبکه لوله کشی مناسب در کل دیواره محیطی آزمایشگاه جهت امکان شارژ دستگاهها.

۳- وجود سیستم جمع آوری آبهای سطحی (کانال با درپوش مناسب یا زهکش های مناسب).

*برای تخلیه میز هیدرولیک، زهکش کف سالن یاحوضچه تخلیه درگوشه ای ازسالن موردنیازمی باشد ودرمرحله طراحی پلان آزمایشگاه بایستی مدنظرقرارگیرد.

۴- فضای مناسب جهت استقرار حداقل ۱۰ میز هیدرولیک ، فلوم آموزشی ، صندلی، میز مدرس ، میز کامپیوتر و ..... به اندازه حداقل ۱۵۰ متر مربع.

۵- وجودبرق تک فازدرکنارهر میز هیدرولیک برای راه اندازی الکتروپمپ مربوطه.

۶- درزبندی درب وپنجره ها بایستی بصورت کامل صورت پذیرد تا گردوغباروارد محیط آزمایشگاه نشود.

- گردوغبارمی تواند کیفیت آب داخل میزها راکاهش ودستگاهها رامختل نماید.

۷- دستگاهها درمعرض نورمستقیم آفتاب نباشد. استفاده ازپرده یا کرکره مناسب توصیه می گردد.

۸- برای برخی دستگاهها نظیرفلوم شیب پذیرکه دبی نسبتا بالا لازم بوده یا برای دستگاه بررسی افت درسیستم لوله کشی که به فشاربالانیازدارد، میزهای استاندارد باطراحی ویژه لازم خواهدبود.

۹- درصورتیکه بیش ازدوهفته از دستگاه استفاده نشود، آب داخل میزهای هیدرولیک یا مخازن ذخیره دستگاهها می بایست تخلیه شود.

۱۰- آب اختصاصی جهت شارژمیزهیدرولیک یا مخازن تغذیه دستگاهها باید تصفیه شده باشد (رسوب گذارنبوده ودارای رنگ یابونباشد.) درصورتیکه کیفیت آب موجودمناسب نباشد، مخزنی مناسب درگوشه ای ازآزمایشگاه بایستی تعبیه گرددتا آب مناسب تهیه شده ازبیرون، ابتدابه این مخزن تخلیه گردیده وبسته به نیازهرمیز، ازآب این مخزن استفاده گردد.

۱۱- درمحیط آزمایشگاه رطوبت ناخواسته ایجادخواهدشد که برای حذف آن تمهیدات لازم بایستی اندیشیده شود. یک راه حل، استفاده ازکولرگازی می باشد.

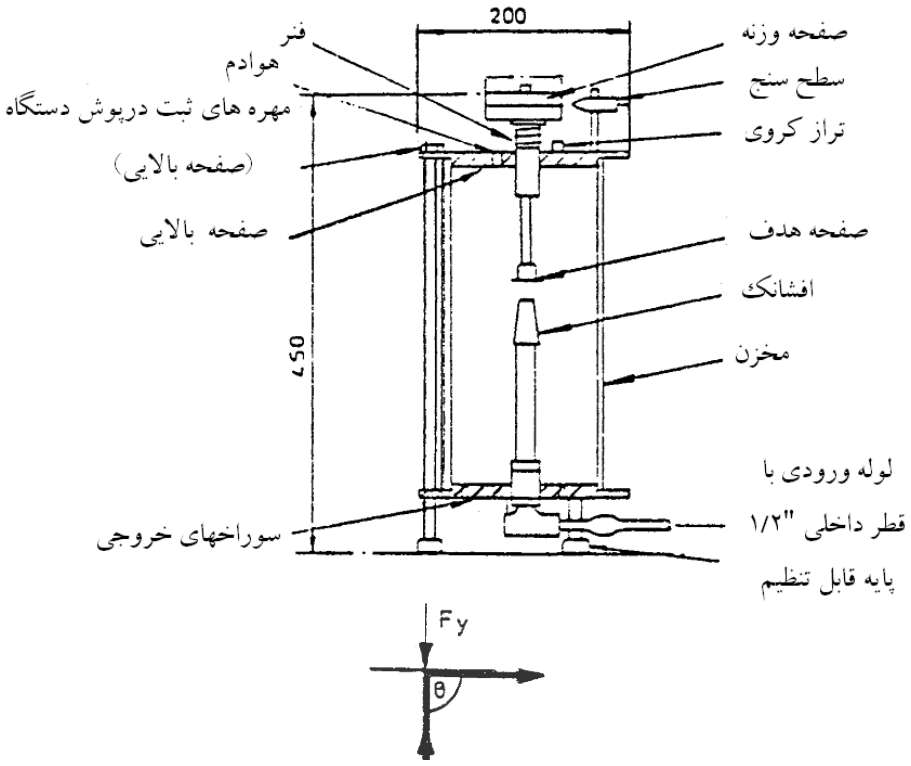
آزمایش ضربه جت:

هدف: تحقیق در صحت مطالب تئوریک موجود در خصوص نیروی اعمالی توسط ضربه جت روی هدف های با شکل های مختلف.

تجهیزات لازم:

میز هیدرولیک، دستگاه ضربه جت، کرنومتر، وزنه.

نمایش قسمت های مختلف دستگاه:



تئوری:

$$F_Y = \rho Q(V - V\cos\theta) \quad , \quad V = \frac{Q}{A}$$

برای صفحه هدف مسطح (۹۰ درجه)

$$F_Y = \rho.Q.\frac{Q}{A} - 0 = \rho\frac{Q^2}{A}$$

برای صفحه هدف (۱۲۰ درجه)

$$F_Y = \rho.Q(\frac{Q}{A} - \frac{1}{2}\frac{Q}{A}) = \frac{3\rho Q^2}{2A}$$

برای صفحه هدف نیم کره ای (۱۸۰ درجه)

$$F_Y = \rho Q(\frac{Q}{A} - (-\frac{Q}{A})) = \frac{2\rho Q^2}{A}$$

$$F_Y = g.M$$

روش کار:

ابتدا صفحه بالایی دستگاه را برداشته، قطر افشانک را اندازه گیری نموده و در مرحله اول صفحه هدف مسطح (۹۰ درجه) را روی میله مربوطه نصب می نماییم.

دستگاه را کاملاً بسته و در بخش کانال میز هیدرولیک قرار داده و ضمناً دستگاه را تراز می نماییم. در حالت عادی (پمپ میز هیدرولیک خاموش) نوک سطح سنج را به محور صفحه وزنه صفر-صفر نموده و برای اولین آزمایش مقدار مناسبی وزنه روی صفحه وزنه قرار داده و دستگاه را روشن می نماییم.

با تغییر دبی جریانی دستگاه (با استفاده از شیر فلکه) حالت صفر-صفر سطح سنج و محور صفحه وزنه را ایجاد می کنیم که بدین ترتیب مقدار دبی جریان (از طریق میز هیدرولیک) و مقدار وزنه می بایست ثبت گردد.

آزمایش فوق برای جرمهای مختلف می بایست تکرار شده و ضمناً مراحل یاد شده برای هر سه نوع پرده سپری تکرار خواهد گردید.

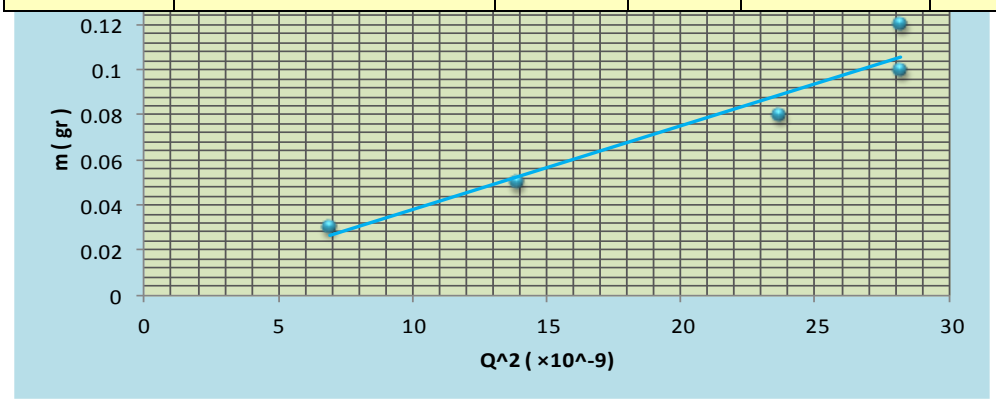
نتایج:

برای هر کدام از صفحات هدف (۹۰، ۱۲۰، ۱۸۰ درجه) جدولی حاوی مربع دبی، دبی جریان بر حسب لیتر در ثانیه، زمان، حجم آب و جرم روی صفحه وزنه با قطر نازل ۸ میلی متری ثبت شده و نمودار جرم صفحه وزنه M را در برابر مربع دبی جریان ترسیم می کنند.

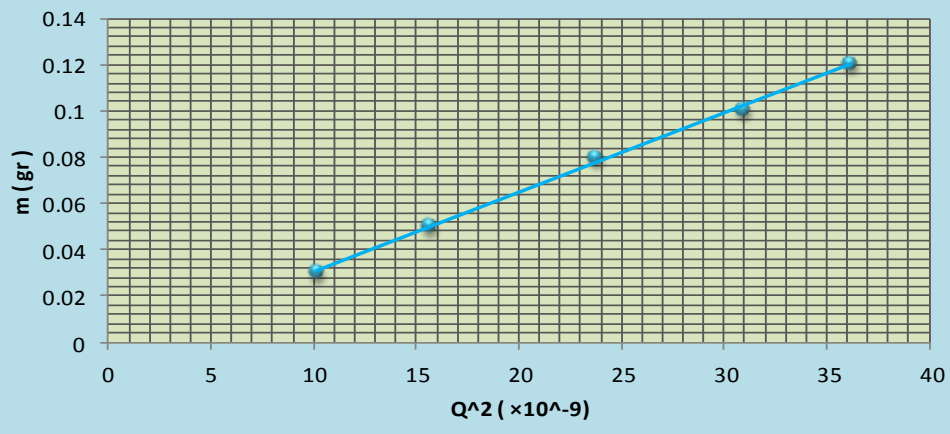
زاویه صفحه	جرم روی صفحه(kg) وزنه	حجم آب (لیتر)	زمان (s)	دبی جریان Q(lit/s)	$Q^2(m^3/s)^2$
90	0.30	1	12	0.083	6.9×10^{-9}
	0.50	2	17	0.118	13.9×10^{-9}
	0.80	2	13	0.154	23.7×10^{-9}
	0.100	3	17.8	0.168	28.2×10^{-9}
	0.120	4	23.75	0.168	28.2×10^{-9}
120	0.30	2	19.7	0.101	10.2×10^{-9}
	0.50	2	16	0.125	15.6×10^{-9}
	0.80	2	13	0.154	23.7×10^{-9}
	0.100	3	17	0.176	30.9×10^{-9}
	0.120	4	21	0.190	36.1×10^{-9}
180	0.30	2	16.5	0.121	14.6×10^{-9}
	0.50	2	13	0.154	23.7×10^{-9}
	0.80	2	10	0.2	40×10^{-9}
	0.100	2	8	0.25	62.5×10^{-9}

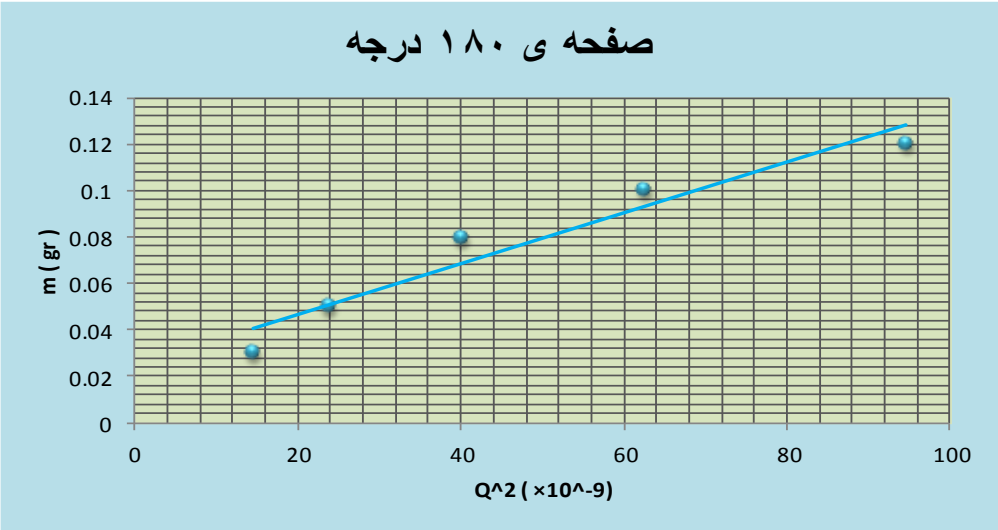
صفحه ی ۹۰ درجه

	0.120	4	13	0.30	94.6×10^{-9}



صفحه ی ۱۲۰ درجه





هر چه زاویه صفحه هدف بیشتر می شود شیب نمودار کمتر می گردد و این نشان می دهد که نیروی کمتری برای تحمل فشار ضربه جت آب لازم دارد.

از تجزیه و تحلیل حاصله، شیب نمودارها برابر با مقادیر تئوریک زیر بدست خواهد آمد.

برای صفحه مسطح $\frac{\rho}{g.A}$

برای صفحه ۱۲۰ درجه $\frac{3}{2}\frac{\rho}{g.A}$

برای صفحه نیم کروی $\frac{2\rho}{g.A}$

زاویه صفحه هدف (درجه)	شیب حاصل از تئوری	شیب حاصل از نمودار
90	2.030×10^6	$\mathbf{1.852} \times 10^6$
120	3.045×10^6	$\mathbf{3.536} \times 10^6$
180	4.061×10^6	$\mathbf{3.930} \times 10^6$

البته اختلاف بین شیب حاصل از مقادیر محاسباتی و شیب تئوریک قابل توجه است.

- اثرات نیروهای حجمی و نیروهای سطحی در آزمایش:

چون هیچ یک از موانع در سیال غوطه ور نیستند لذا هیچ نیروی حجمی به آن وارد نمی شود ولی به دلیل وجود لزجت در سیال، بر روی سطح تماس سیال با موانع تنش برش داریم و در پی آن نیروی برشی .این نیرو در مانع تخت به طور افقی بوده و برآیند آن صفر می باشد لذا خطائی در آزمایش وارد نمی شود ولی در مانع نیمکره این نیروها در نتیجه آزمایش دخالت دارند.

- نقش فنر در آزمایش : آیا ضریب خنثی آن بر آزمایش اثری دارد؟ آیا کلیت لولا شدن اهرم برنتایج اثر دارد ؟

نقش فنر تأمین یک گشتاور برای ایجاد تعادل در خط کش مدرج و تراز کردن آن و همان طور که در فرمولهای تجربی و تئوری می بینیم اثری از k نیست لذا سختی فنر اثری در آزمایش ندارد .در محل لولا اصطکاک داریم و در نتیجه مقداری از نیرو برای غلبه بر اصطکاک آن به هدر می رود و خطا ایجاد می کند.

Orifice and Free Jet Flow

دستگاه جریان روزنه و فوران آزاد

مقدمه :

مطالعه یک پدیده درآزمایشگاه معمولا با ابعاد واقعی آن امکان پذیرنمی باشد . مثلا اگربخواهیم جریان عبوری اززیر دریچه وجریان روی یک سرریز و یا نیرو

یک‌ی وارداز‌طرف یک جت به صفحه ای درمقابل آن رامطالعه کنیم باید کوچک درآزمایشگاه ازاین پدیده ها ساخته وموردآزمایش قراردهیم.

مدل

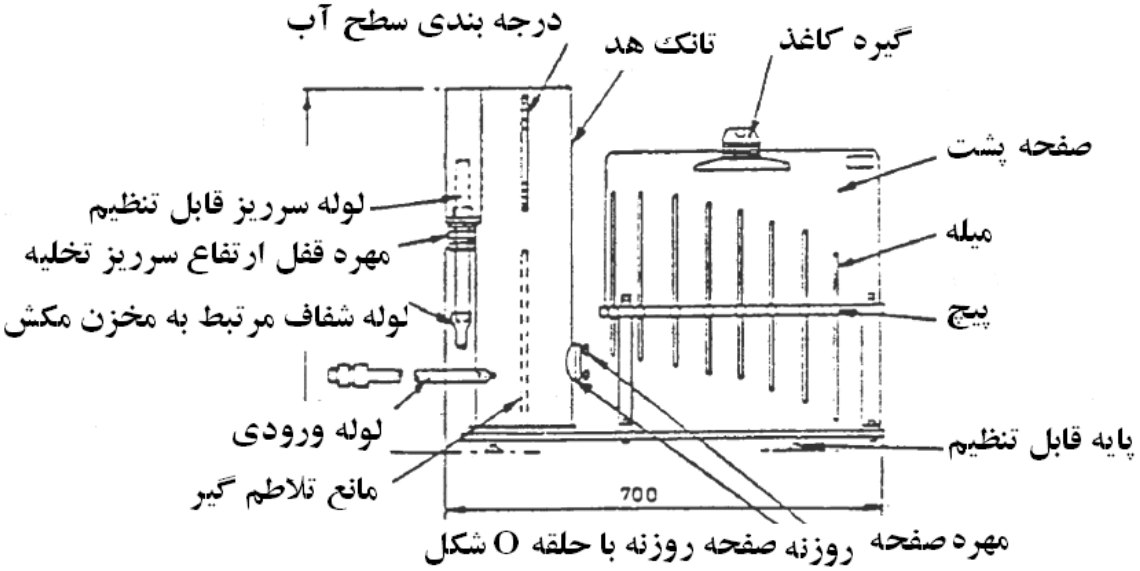
درساخت ومطالعه مدل آزمایشگاهی بایدشروط تشابه هندسی، تشابه دینامیکی رارعایت نمود.

در این طرح با ایجاد هد ثابت روی اوریفیس افقی و استفاده از میله های ۸ گانه در مسیر فوران جت آب ، پروفیل آب قابل ترسیم می باشد که با پردازش داده های یاد شده امکان تعیین ضریب روزنه ونیز رابطه انتگرالی تخلیه بار متغییر مقدور میگردد. فوران

لکسی گلس به ارتفاع ۴۲ cm با امکان هد دهی از ۲۳۰ تا ۴۱۰ میلیمتر

آزمایش تعیین ضریب سرعت برای روزنه کوچک:

نمایش جزئیات دستگاه:



تئوری:

$$V = C_V \times \sqrt{2gh}$$

$$CV = \frac{x}{2\sqrt{hy}} \qquad \text{یا} \qquad \frac{x^2}{h} = 4CV^2.Y$$

که در این روابط:

V سرعت واقعی

CV ضریب سرعت

H هد آب در مخزن بار

X مشخصه طولی نقطه تحت مطالعه در امتداد نیمرخ فوران آب

Yمشخصه عرضی نقطه تحت مطالعه در امتداد نیمرخ فوران آب

توضیح اینکه مبدأ اندازه گیری X صفحه جمع شدگی ونا خواهد بود. (البته در این آزمایش هدف تعیین ضریب فشردگی ونا (Vena Contracta) برای روزنه تحت مطالعه نیست.

شرح آزمایش:

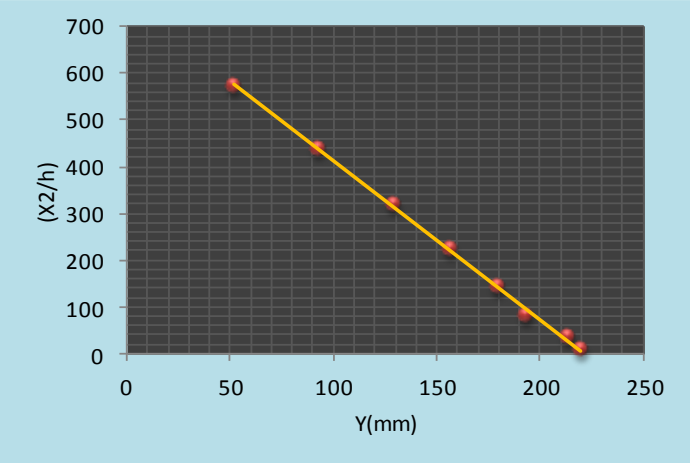
پس از اتصال دستگاه به میز هیدرولیک، به ازای هد ثابت آب در مخزن بار، نوک میله های ۸ گانه مطالعه نیمرخ فوران آب را به جت آب تنظیم نموده و با قرار دادن صفحه کاغذ A_3 در Back Board و تثبیت آن با گیره مخصوص کاغذ انتهای میله ها را روی صفحه کاغذ علامت گذاری می نماییم.

بدین ترتیب به ازای هد ثابت h برای هر نقطه x و y معین خواهد گردید.

آزمایش فوق را برای هدهای مختلف در مخزن بار با حرکت لوله سرریز قابل تنظیم تکرار می نماییم.

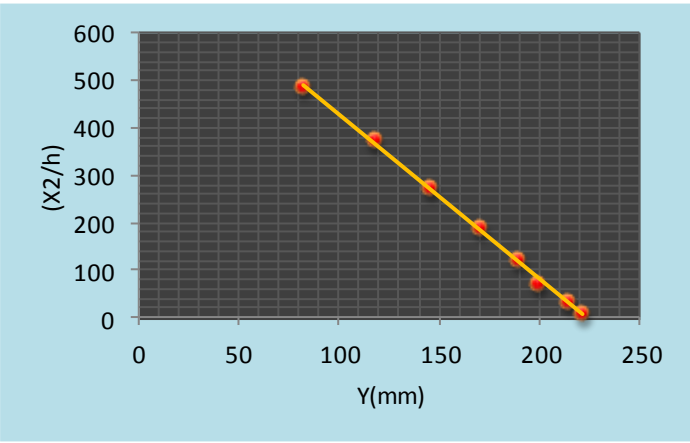
سپس جدول زیر را برای مقادیر حاصل در روزنه های به قطر ۵ و ۶ میلی متری تکمیل خواهیم نمود، و بر اساس نتایج حاصل از جدول ، نمودار $\frac{x^2}{h} \rightarrow y$ را ترسیم و از شیب نمودار CV حاصل خواهد شد.

Height Y(mm)	Distance X(mm)	X^2 (mm^2)	(X^2/h)
220	**50**	**2500**	**7.575758**
213	**100**	**10000**	**30.30303**
193	**150**	**22500**	**68.18182**
180	**200**	**40000**	**121.2121**
156.5	**250**	**62500**	**189.3939**
129	**300**	**90000**	**272.7273**
93	**350**	**122500**	**371.2121**
52	**400**	**160000**	**484.8485**



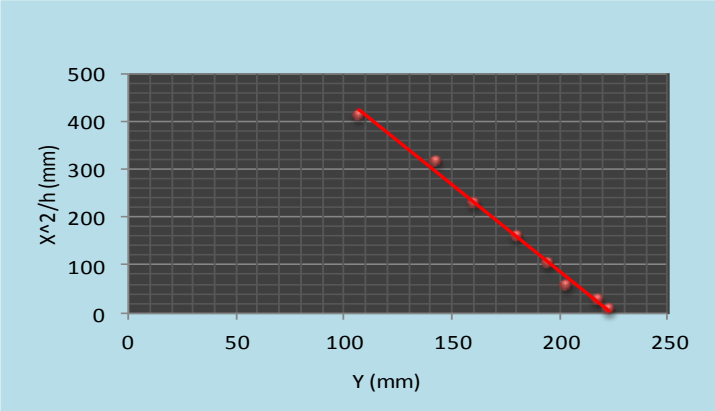
$$4C_v^{\,2} = 3.386 \Rightarrow C_v = .92$$

Height Y(mm)	**Distance X(mm)**	**X^2 (mm^2)**	**(X^2/h)**
222	**50**	**2500**	**7.575758**
215	**100**	**10000**	**30.30303**
200	**150**	**22500**	**68.18182**
190	**200**	**40000**	**121.2121**
170.5	**250**	**62500**	**189.3939**
146	**300**	**90000**	**272.7273**
118	**350**	**122500**	**371.2121**
82	**400**	**160000**	**484.8485**

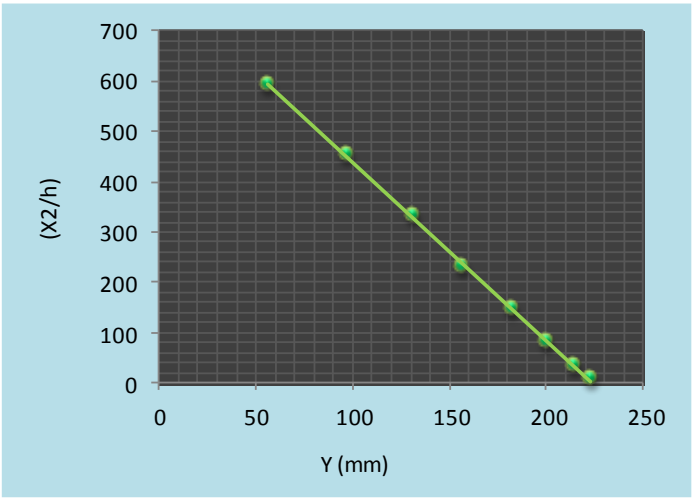


$$4C_v^{\,2} = 3.467 \Rightarrow C_v = 0.93$$

Height Y(mm)	Distance X(mm)	X^2 (mm^2)	(X^2/h)
223	50	2500	6.41
218	100	10000	25.64
203	150	22500	57.7
195	200	40000	102.56
180.5	250	62500	160.256
161	300	90000	230.77
143	350	122500	314.1
107	400	160000	410.25

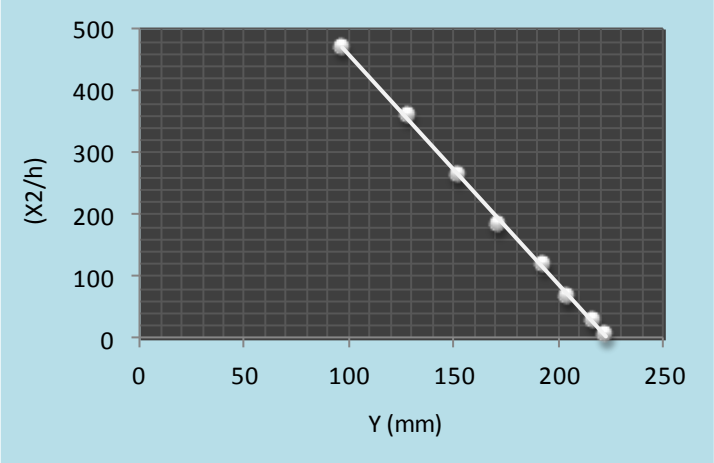


Height Y(mm)	Distance X(mm)	X^2 (mm^2)	(X^2/h)
223	50	2500	9.259259
214	100	10000	37.03704
200	150	22500	83.33333
182	200	40000	148.1481
156	250	62500	231.4815
131	300	90000	333.3333
97	350	122500	453.7037
56	400	160000	592.5926



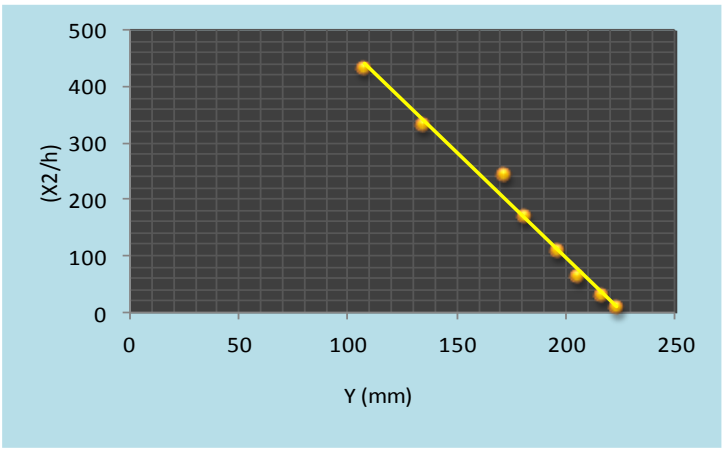
$$4C_v^{\ 2} = 3.467 \Rightarrow C_v = 0.93$$

Height Y(mm)	Distance X(mm)	X^2 (mm^2)	(X^2/h)
223	50	2500	7.352941
217	100	10000	29.41176
205	150	22500	66.17647
193	200	40000	117.6471
171	250	62500	183.8235
152	300	90000	264.7059
128	350	122500	360.2941
97	400	160000	470.5882

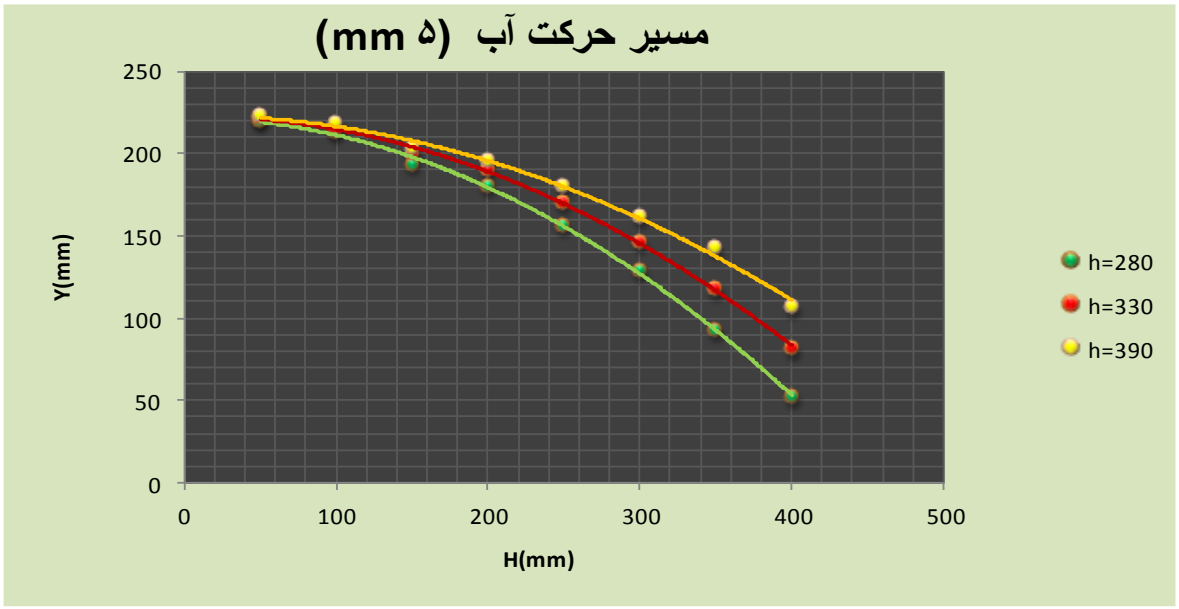


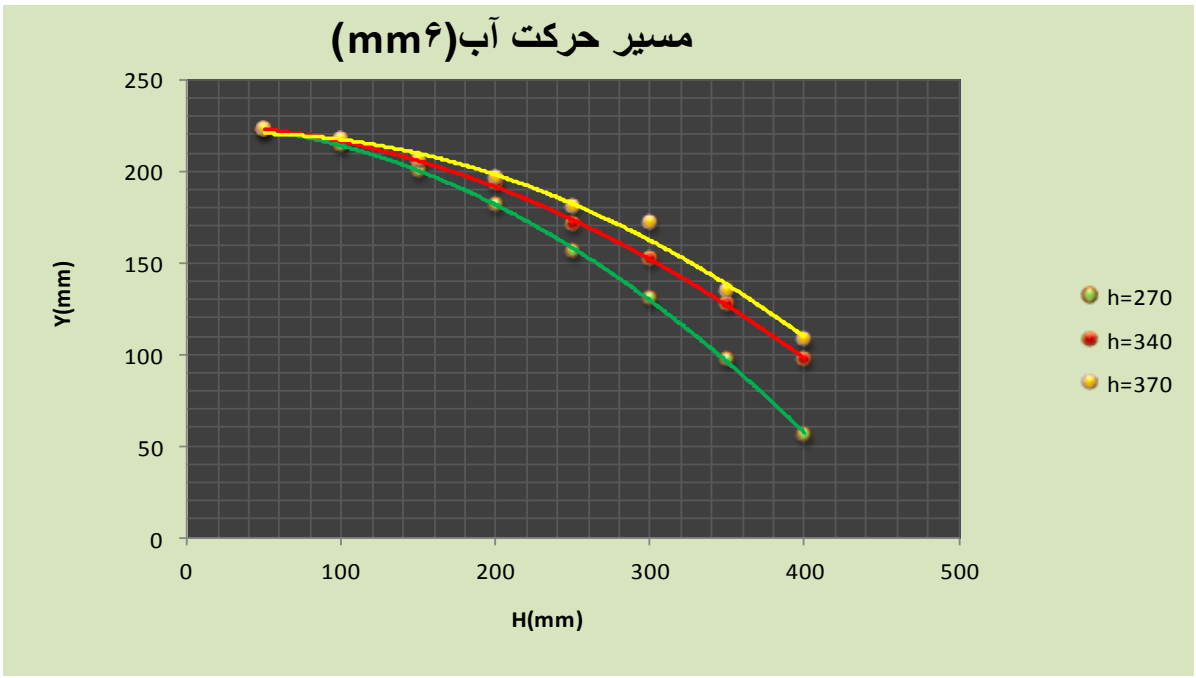
$$4C_v^{\ 2} = 3.6969 \Rightarrow C_v = 0.961$$

Height Y(mm)	Distance X(mm)	X^2 (mm^2)	(X^2/h)
223	50	2500	6.756757
217	100	10000	27.02703
206	150	22500	60.81081
196	200	40000	108.1081
181	250	62500	168.9189
172	300	90000	243.2432
135	350	122500	331.0811
108	400	160000	432.4324



$$4C_v^{\ 2} = 3.7523 \Rightarrow C_v = 0.97$$





نتایج به دست آمده نشان می دهد که هر چه قطر روزنه کوچکتر باشد ضریب سرعت بیشتر می باشد به عبارت دیگر قطر روزنه و ضریب سرعت رابطه معکوس دارند.

همچنین اگر تغییری در مبدا مختصات وارد شود هیچ تأثیری در نتایج آزمایش پیش نخواهد آمد.

کاربرد این آزمایش در میزان برد خروجی آب از دریچه سدها می باشد.

Osborne-Reynolds Demonstration

(آزمایش اسبورن- رینولدز)

مقدمه :

مطالعه یک پدیده درآزمایشگاه معمولا با ابعاد واقعی آن امکان پذیرنمی باشد . مثلا اگربخواهیم جریان عبوری اززیر یک دریچه وجریان روی یک سرریز و یا نیروی وارداز‌طرف یک جت به صفحه ای درمقابل آن رامطالعه کنیم باید مدل کوچک درآزمایشگاه ازاین پدیده ها ساخته ومورد‌آزمایش قراردهیم.
درساخت ومطالعه مدل آزمایشگاهی بایدشروط تشابه هندسی، تشابه دینامیکی رارعایت نمود.
در این طرح با استفاده از شیرفلکه واقع در پایین دست لوله تست تحت هد ثابت سرعت جریان کنترل شده و با ایجاد حالتهای رژیم جریان آرام ، آشفته و بینابینی و تعیین سرعت جریان در هر حالت عدد رینولدز محاسبه شده و بدین سان آموزش آزمایش اسبورن-رینولدز مقدور می گردد.

مشخصات فنی دستگاه آزمایش آزمایش اسبورن-رینولدز :

شامل هد تانک از جنس پلکسی گلس بدون درز به قطر ۲۰۰ میلیمتر و ارتفاع ۳۳۵ میلیمتر
لوله تست به قطر ۱۰ و طول ۷۰۰ میلیمتر
مخزن ماده رنگی از جنس پلکسی گلس بدون درز به ظرفیت ۰/۴۵ لیتر
توپی های تلاطم گیر
ورودی دهانه رنگی از جنس پلکسی گلس
امکان تغییر هد تزریق ماده رنگی
مجهز به شیر کنترل پایین دست

ابزارهای دقیق اندازه گیری شامل روتامتر و ..... ساخت کمپانی نیکسون انگلستان و چینی درجه یک یا طبق سفارش
صفحات و مفتولهای پلکسی گلس عمدتا اروپائی ، صفحات و مفتولهای **PVC** آلمانی ، اتصالات **PVC** ساخت آلمان و اسپانیا ، ترکیه و ایران .
الکتروپمپهای مورد استفاده عموما ساخت چین از نوع درجه ۱ (تحت لیسانس کمپانیهای اروپائی) یا طبق سفارش.
و پیچ و مهره ها از فولاد ضد زنگ یا پوشش واتر پروف میباشد .

استاندارد یا طرح مورد استفاده در تولید :

توضیح اینکه در این دستگاه از طرح کمپانی آرمفیلد استفاده شده است.

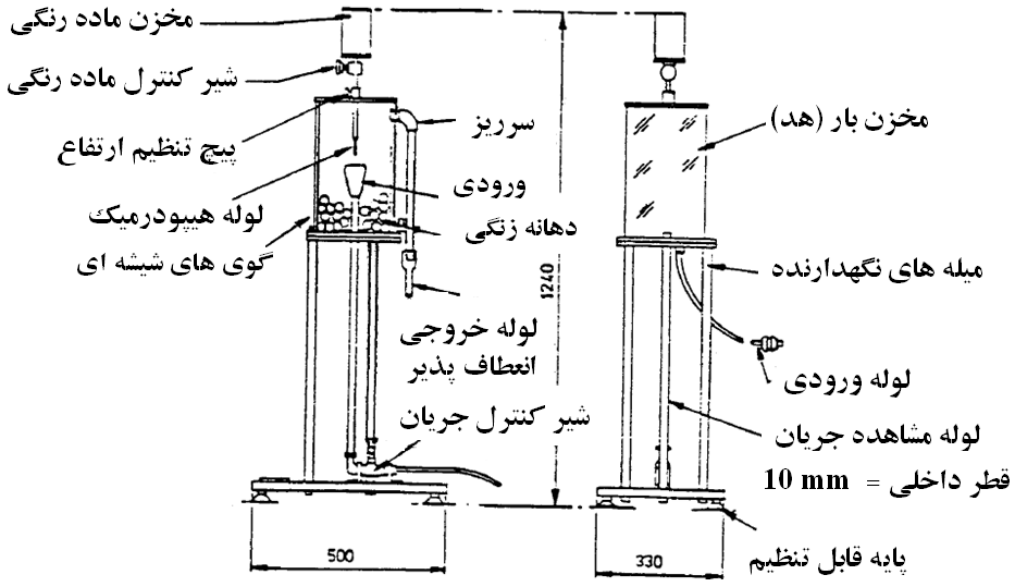
آزمایش عدد رینولدز:

هدف: باز ارائه تجارب کلاسیک پروفسور اسبورن-رینولدز درخصوص حالات جریان سیالات.

تجهیزات مورد لزوم:

میز هیدرولیک، دستگاه آزمایش اسبورن-رینولدز، سیلندر اندازه گیری، کرنومتر، ماده رنگی گیاهی، ترمومتر.

نمایش قسمت های مختلف دستگاه:



تئوری:

عدد رینولدز (Re) بصورت جهانی به عنوان معیاری جهت بیان حالات جریان سیالات شناخته شده است.

و داریم:

$$\mathrm{Re} = \frac{V.d}{\nu}$$

به عبارتی عدد رینولدز معیار تشخیص رژیم جریان از حالت ورقه ای تا حد متلاطم می باشد.

در جریان ورقه‌ای ذرات سیال در مسیرهای مشخص و تعریف شدهای به نام خطوط جریان صورت می‌پذیرد.

در جریان متلاطم ذرات سیال در مسیرهای زیگزاگ و تصادفی انتقال می‌یابد و کمیت‌های جریان دائماًدر حال تغییر می‌باشد.

شرح آزمایش:

مخزن ماده رنگی را پر نموده، دستگاه را روی میز هیدرولیک قرار دهید و لوله ورودی دستگاه را به خروجی میز هیدرولیک متصل نمایید.

انژکتور ماده رنگی را تا حدی پایین آورید تا در دهانه ورودی دهانه رنگی قرار گیرد. شیر کنترل جریان را ببندید.
شیر خروجی پمپ میز هیدرولیک را باز کنید و کاملا آرام تانک هد را تا حد سرریزی پر نمایید؛ سپس شیر ورودی را ببندید. شیر کنترل جریان را جهت امکان ورود آب به لوله مشاهده جریان باز و بسته نمایید.
اجازه دهید دستگاه حداقل ده دقیقه قبل از آزمایش بلا استفاده بماند. دمای آب را اندازه گیری نمایید.
شیر ورودی را کاملاً آرام باز کنید تا آب از خروجی قطران نماید.
شیر کنترل جریان را جزئی باز کنید و شیر کنترل ماده رنگی را تنظیم نمائید تا جریان جزئی با ماده نشان دهنده صورت گیرد. دبی جریان را ثبت نمایید.
برای دبی های مختلف (از دبی کم به طرف دبی های زیاد) که توسط شیر کنترل جریان ایجاد می شود، آزمایش را تکرار نمایید.
برای حالت بحرانی اندازه گیری خاصی از دبی جریان را انجام دهید.
پروسه را برای دبی های کاهشی با اندازه گیری خاص جریان در حالت بحرانی تکرار نمایید.

نتایج و محاسبات:

قطر داخلی لوله‌ی مشاهده:۱۰ میلیمتر ویسکوزیته آب : ۶-۱۰ دمای آب: ۲۰ درجه سانتی گراد

$$A=\frac{\pi}{4}\times 0.01^2 = 78.537\times 10^{-6}(m^2)$$

حالت ماده رنگی	عدد رینولدز	سرعت آب (m/s)	دبی (m^3/s ×10^{-6})	زمان (ثانیه)	حجم آب (لیتر)
متلاطم	7310	0.731	۵۷/۴۷۱	۸/۷	**0.5**
آشفته	5010	0.501	۳۹/۳۷	۱۲/۷	**0.5**
متلاطم	4240	0.424	۳۳/۳۳	۱۵	**0.5**
انتقالی	3540	0.354	۲۷/۷۷	۱۸	**0.5**
انتقالی	2930	0.293	۲۳/۰۴۱	۲۱/۷	**0.5**
لایه ای	1930	0.193	۱۵/۱۵۱	۳۳	**0.5**
لایه ای	1410	0.141	۱۱/۱۱۱	۴۵	**0.5**

همانگونه که از روی نوع حرکت مایع رنگی در آب – نوع جریان را تشخیص دادیم این نتایج با نتایج حاصل از قوانین عدد رینولدز مطابقت دارد.

دبی جریان حجمی و عدد رینولدز را برای هر حالت محاسبه نمایید.

شرایط جریان نمایشی توسط خطوط ماده رنگی را با مقادیر عدد رینولدز مقایسه نمایید.

Surge Tank & Water Hammer Apparatus

دستگاه نمایش ضربه قوچ

مقدمه :

مطالعه یک پدیده درآزمایشگاه معمولا با ابعاد واقعی آن امکان پذیرنمی باشد . مثلا اگربخواهیم جریان عبوری اززیر یک دریچه و جریان روی یک سرریز و یا نیروی وارد از طرف یک جت به صفحه ای درمقابل آن رامطالعه کنیم، باید مدل کوچک درآزمایشگاه از این پدیده ها ساخته و مورد آزمایش قرار دهیم.

درساخت ومطالعه مدل آزمایشگاهی بایدشروط تشابه هندسی، تشابه دینامیکی را رعایت نمود.

در این دستگاه با استفاده از هد تانک و خط لوله مجهز به شیر قطع و وصل دفعی پایین دست و نیز شفت مشاهده و اندازه گیری فشار ، امکان مطالعه پدیده ضربه قوچ مهیا می گردد.

مشخصات فنی دستگاه ضربه قوچ تحقیقاتی :

شامل هد تانک با امکان تثبیت هد آب

خط لوله مطالعه ضربه قوچ ،

شفت قائم از جنس شفاف (پلکسی گلس) جهت مشاهده و اندازه گیری مستقیم فشار پیزومتریک در مجاورت شیر قطع و وصل

خط تخلیه و تغذیه آب

شیر آلات و اتصالات مربوطه

ابزارهای دقیق اندازه گیری شامل روتامتر و ..... ساخت کمپانی نیکسون انگلستان و چینی درجه یک یا طبق سفارش

صفحات و مفتولهای پلکسی گلس عمدتاً اروپائی ، صفحات و مفتولهایPVC آلمانی ، اتصالات PVC ساخت آلمان و اسپانیا ، ترکیه و ایران .

الکتروپمپهای مورد استفاده عموماً ساخت چین از نوع درجه یک (تحت لیسانس کمپانیهای اروپائی) یا طبق سفارش

و پیچ و مهره ها از فولاد ضد زنگ یا پوشش واتر پروف می باشد .

استاندارد یا طرح مورد استفاده در تولید :

توضیح اینکه در این دستگاه از طرح کمپانی گونت استفاده شده است.

امکانات اولیه لازم آزمایشگاه مکانیک سیالات و هیدرولیک جهت استقرار دستگاه :

۱- انجام کف سازی مناسب جهت ترازبودن دستگاهها

۲- وجود شبکه لوله کشی مناسب در کل دیواره محیطی آزمایشگاه جهت امکان شارژ دستگاهها.

۳- وجود سیستم جمع آوری آبهای سطحی (کانال با درپوش مناسب یا زهکش های مناسب).

*برای تخلیه میز هیدرولیک، زهکش کف سالن یاحوضچه تخلیه درگوشه ای ازسالن موردنیازمی باشد ودرمرحله طراحی پلان آزمایشگاه بایستی مدنظرقرارگیرد.

۴- فضای مناسب جهت استقرار حداقل ۱۰ میز هیدرولیک ، فلوم آموزشی ، صندلی، میز مدرس ، میز کامپیوتر و ..... به اندازه حداقل ۱۵۰ متر مربع.

۵- وجودبرق تک فاز در کنار هر میز هیدرولیک برای راه اندازی الکتروپمپ مربوطه.

۶- درزبندی درب وپنجره ها بایستی بصورت کامل صورت پذیرد تا گرد و غباروارد محیط آزمایشگاه نشود.

- گردوغبارمی تواند کیفیت آب داخل میزها را کاهش و دستگاهها را مختل نماید.

۷- دستگاهها درمعرض نورمستقیم آفتاب نباشد. استفاده از پرده یا کرکره مناسب توصیه می گردد.

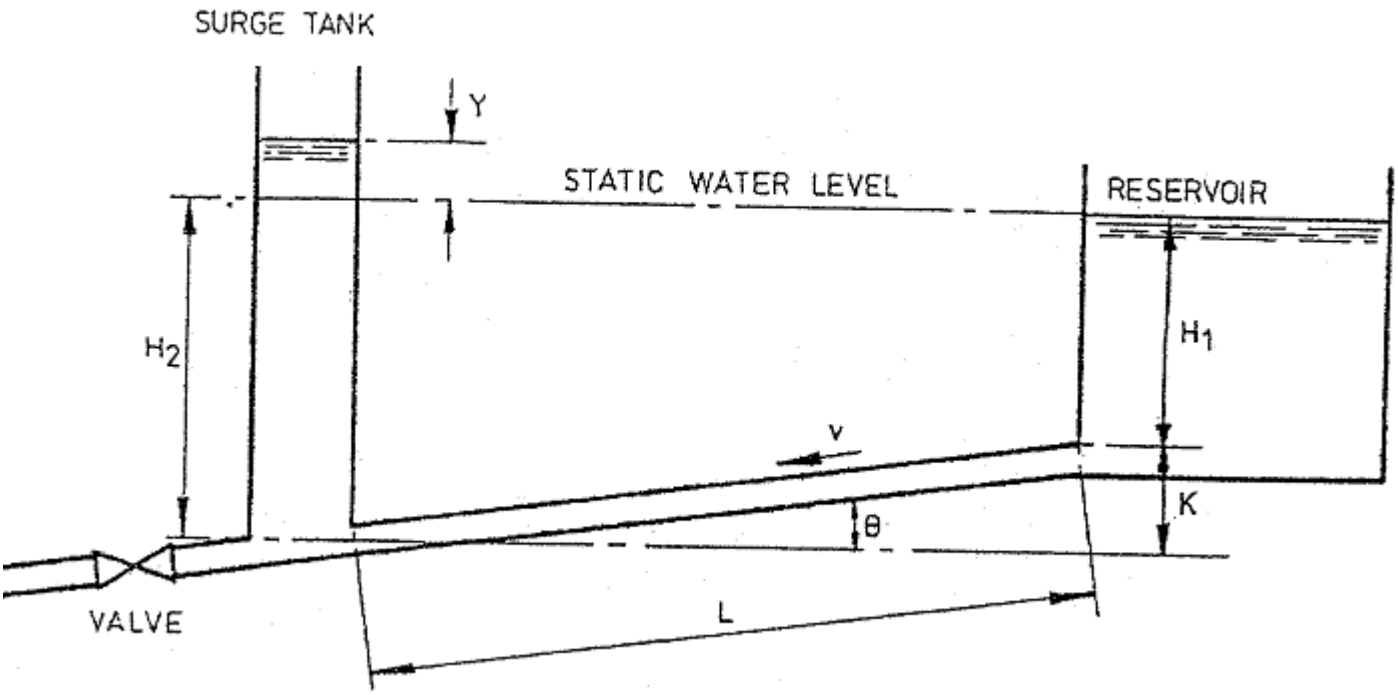
۸- برای برخی دستگاهها نظیرفلوم شیب پذیرکه دبی نسبتاً بالا لازم بوده یا برای دستگاه بررسی افت درسیستم لوله کشی که به فشار بالا نیاز دارد، میزهای استاندارد با طراحی ویژه لازم خواهد بود.

۹- درصورتیکه بیش از دو هفته از دستگاه استفاده نشود، آب داخل میزهای هیدرولیک یا مخازن ذخیره دستگاهها می بایست تخلیه شود.

۱۰- آب اختصاصی جهت شارژ میز هیدرولیک یا مخازن تغذیه دستگاهها باید تصفیه شده باشد (رسوب گذار نبوده و دارای رنگ یا بو نباشد.) درصورتی که کیفیت آب موجود مناسب نباشد، مخزنی مناسب در گوشه ای ازآزمایشگاه بایستی تعبیه گردد تا آب مناسب تهیه شده ازبیرون، ابتدا به این مخزن تخلیه گردیده و بسته به نیاز هر میز، ازآب این مخزن استفاده گردد.

۱۱- درمحیط آزمایشگاه رطوبت ناخواسته ایجاد خواهد شد که برای حذف آن تمهیدات لازم بایستی اندیشیده شود. یک راه حل، استفاده از کولرگازی می باشد.

آنالیز بدون اصطکاک دستگاه ضربه قوچ ساده:



a= مقطع لوله

A=مقطع مخزن تعادل

در هر زمان t بعد از اینکه جریان در شیر تغییر کند.

u = سرعت در لوله

y = سطح آب در مخزن تعادل بالای سطح مخزن استاتیک

q = دبی در شیر

$\frac{dy}{dt}$ = سطح در مخزن تعادل که با سرعت بالا و پایین می رود.

مخزن موج و ضربه قوچ:

تئوری:

بنابر قانون دوم نیوتن در مورد حرکت آب

نیروی اصطکاکی در لوله – وزن آب +نیروی بسته به اختلاف فشار انتهایی = سرعت × جرم

$$\rho aL.\frac{du}{dt} = \rho gaH_1 - \rho ga(H_2 + y) + \rho ga.L\sin\theta - \rho gah_f$$

اگر θ کوچک باشید:

$$\sin\theta = K \qquad , H_2 = H_1 + K$$

h_f افت بار در لوله است.

$$\frac{L}{g}\frac{du}{dt} + y + h_f = 0$$

برای پیوستگی،

جریان در شیر+ جریان در مخزن تعادل= جریان در لوله

$$i.e. \qquad av = A\frac{ay}{dt} + q$$

$$or \qquad v = \frac{A}{a}\frac{dy}{dt} + \frac{q}{a}$$

با جایگذاری u داریم:

$$\frac{L}{g}\frac{d}{dt}\left[\frac{A}{a}\frac{dy}{dt} + \frac{q}{a}\right] + y + h_f = 0$$

این رابطه کلی با $h_f = Fv^u$ و $q = f(t)$ یا $q = f(y)$ و بدون راه حل کلی است.

یک روش ساده این است که اگر $q = 0$ (یعنی جریان در شیر صفر است) و اگر از افت اصطکاکی صرف نظر شود $f_f = 0$.

آنگاه:

$$\frac{A}{a}.\frac{L}{g}.\frac{d^2y}{dt^2} + y = 0 \qquad or$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{ga}{LA}y = 0$$

دو گانگی ماکزیمم y برابر است با: $y = V_0\sqrt{\frac{LA}{gA}}$

همانطور که قبلا گفته شد، این نتیجه به آثاز اصطکاکی بستگی ندارد.

ارتفاع ماکزیمم موج: $y - 0.6h_{f_0}$

ارتفاع ماکزیمم موج: $y(1 - \frac{h_{f_0}}{3y})^2$

تئوری آزمایش ضربه قوچ:

انرژی سینماتیک مایع متحرک در لوله به انرژی پتانسیل به شکل فشارشی است اگر شیر بسته شود افت انرژی سینماتیک عبارتست از:

$$\frac{1}{2}\rho\frac{\pi}{4}d^2Lu^2 = \frac{1}{2}\frac{P^2}{K}.\frac{\pi}{4}d^2L$$

$$or \qquad P = u\sqrt{(K\rho)}$$

اما سرعت صوت در لوله به صورت زیر است:

$$C = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

با جایگذاری K:

$$P = u(\rho C^2\rho) = \rho uC$$

در اثر بستن دفعی شیری در پایین دست جریان ، کاهشی در شدت جریان بدست می آید که این امر باعث کاهش ناگهانی انرژی جنبشی سیال می گردد و در پی آن جریانی غیر دائمی در لوله ایجاد می گردد. این کاهش انرژی به صورت افزایش فشار در خطوط لوله ظاهر می گردد که گاهی برای خط لوله اثرات تخریبی دارد، مثلا در خط لوله های بزرگ ممکن است موجب ترکیدن لوله یا خسارت رساندن به شیر کنترل شود. افزایش فشار در اثر پدیده ضربه قوچ به صورت یک سری موج های فشاری سینوسی در طول لوله با سرعت صوت حرکت می کند.

یکی از راههای جلوگیری از افزایش فشار استفاده از تانک فشار گیر (Surge Tank) یا مخزن تعادل می باشد. این تانکها در انواع گوناگون ساخته می شوند. اگر فضای کافی در اطراف شیرهای توربین وجود داشته باشد از تانک فشار گیر با جداره های بتنی استفاده می کنند که حداقل ارتفاع آن می بایست به اندازه آب پشت سدها باشد.

این افزایش فشار ناگهانی از شیر پایین لوله در سرعت صوتی در مخزن برگشت داده شده و این بازتاب موج فشاری کمی را تولید خواهد نمود. d/C تأخیر زمانی خواهد داد که پالس فشار اولیه به ترنسدوسر در طول لوله خواهد رسید. که d فاصله بین ترنسدوسرهاست. پس اندازه گیری این تأخیر زمانی ممکن است برای سرعت صوتی در سیستم آب/لوله بکار برده شود که باید از عبارت زیر مشتق شود:

$$C = \sqrt{\frac{K}{\rho(1+\frac{KD}{t_P{}^E})}}$$

روش :

دستگاه مورد آزمایش از یک مخزن ذخیره آب ، یک مخزن آب با ارتفاع ثابت، دو مسیر جداگانه (یکی برای آزمایش تانک فشارگیر و دیگری اندازه گیری فشار ناشی از ضربه قوچ) و مخزن اندازه گیری دبی حجمی آب تشکیل شده است. توسط پمپ می توان آب را از مخزن ذخیره به مخزن با ارتفاع ثابت منتقل نموده ، مازاد آب پمپ شده، از یک مسیر سرریز به مخزن ذخیره بر می گردد. از مخزن با ارتفاع ثابت دو لوله هر کدام به طول ۳ متر از جنس استیل انشعاب گرفته شده است. در انتهای یکی از آنها تانک فشارگیر (Surge Tank) و یک شیر اهرم دار قرار دارد که برای اندازه گیری دبی حجمی از مانومتر مدرج استفاده می شود.

بعد از روشن نمودن پمپ شیر خروجی ، آنرا به قدری باز می کنیم که مخزن با ارتفاع ثابت پر شده و مقدار کمی آب اضافی به مخزن ذخیره بر می گردد. سپس شیرهای انتهای هر دو مسیر لوله ها را می بندیم ، ارتفاع آب در مخزن تعادل بعد از مستهلک شدن نوسانات سطح آب در آن (H2) همان ارتفاع در مخزن آب با ارتفاع ثابت است .

با باز نمودن شیر اهرم دار و شیر کنترل جریان به طور کامل در انتهای لوله ای که مخزن تعادل در مسیر آن است اجازه می دهیم تا آب جاری شود. بعد از پایان نوسانات سطح آب، ارتفاع آب در مخزن تعادل را یادداشت نمائید. دبی حجمی آب را اندازه نموده و یادداشت نمائید . سپس شیر اهرم دار را به طور سریع بسته، ارتفاع حداکثر اولیه (H max) و یک زمان نوسان کامل را اندازه گیری کنید. با تکرار چندین بار این عمل می توان نوسانات تجربی سطح آب را بر حسب زمان رسم نمود.

توصیه می شود که ابتدا یک نمودار ساده از این حرکت سینوسی میرا کشیده شده و سپس با تکرار مراحل فوق نقاط حداکثر و حداقل سطح آب را درروی نمودار یادداشت و سپس لحظه رسیدن از زمان بسته شدن شیر تا هر نقطه حداقل یا حداکثر را جدا گانه اندازه گیری نموده و در روی نمودار یادداشت نمائید.مشخصات دستگاه مورد آزمایش به صورت زیر است :

طول لوله L=۳m

قطر بیرونی لوله d=۲۲mm

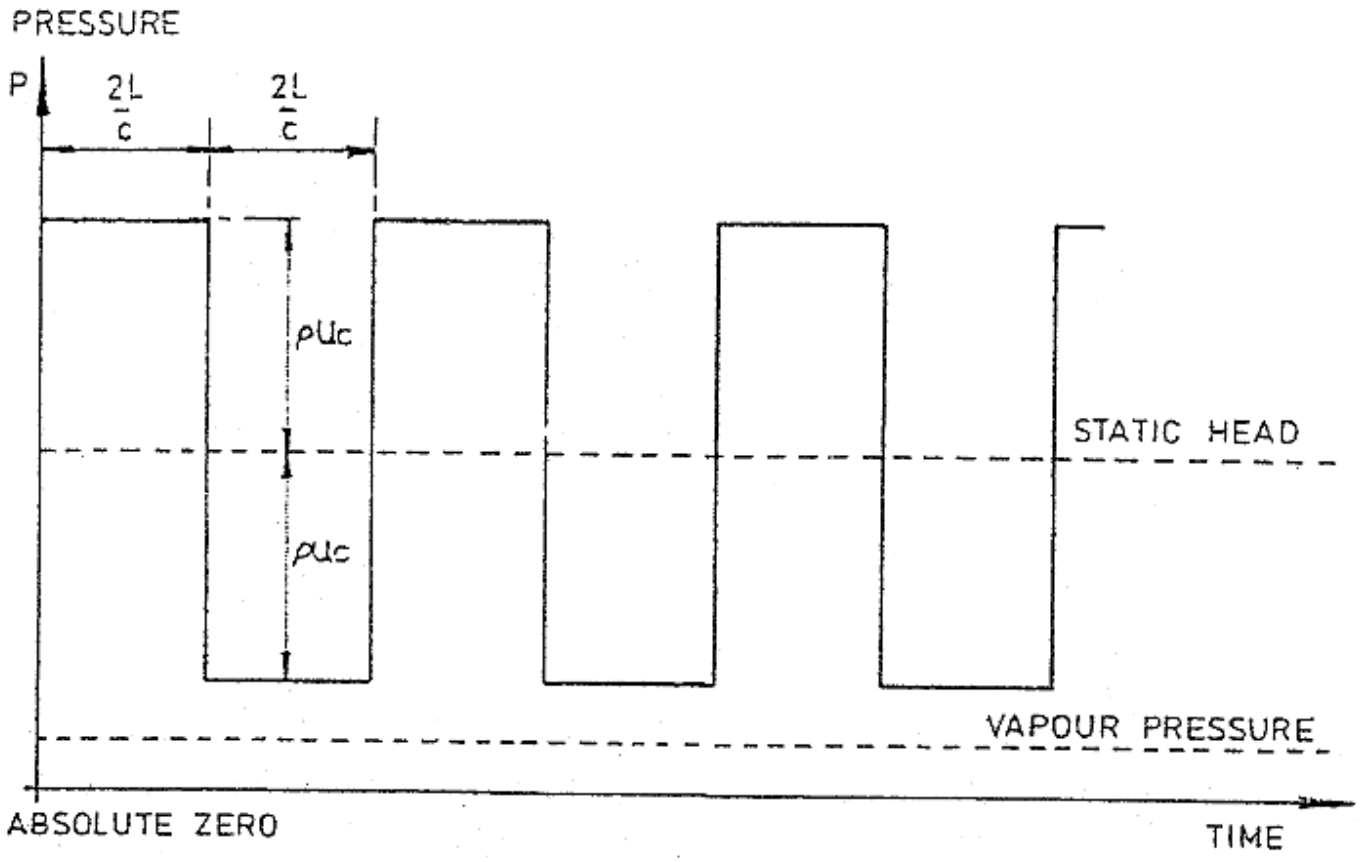
ضخامت لوله t=۰/۹mm

سطح مقطع لوله a=۰/۳۲۰۴*۱۰-۳ m2

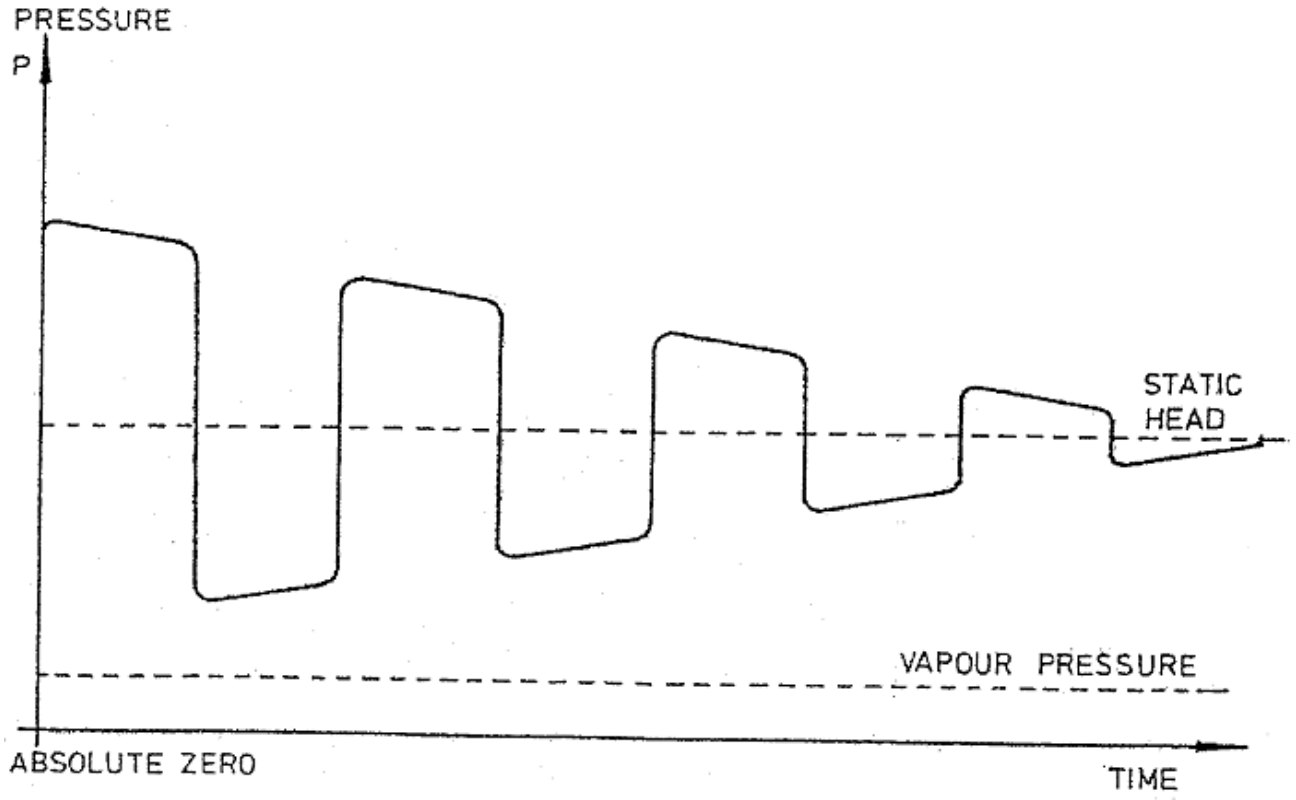
سطح مقطع تانک فشارگیر A=۱/۵۲*۱۰-۳ m2

نتایج و محاسبات :

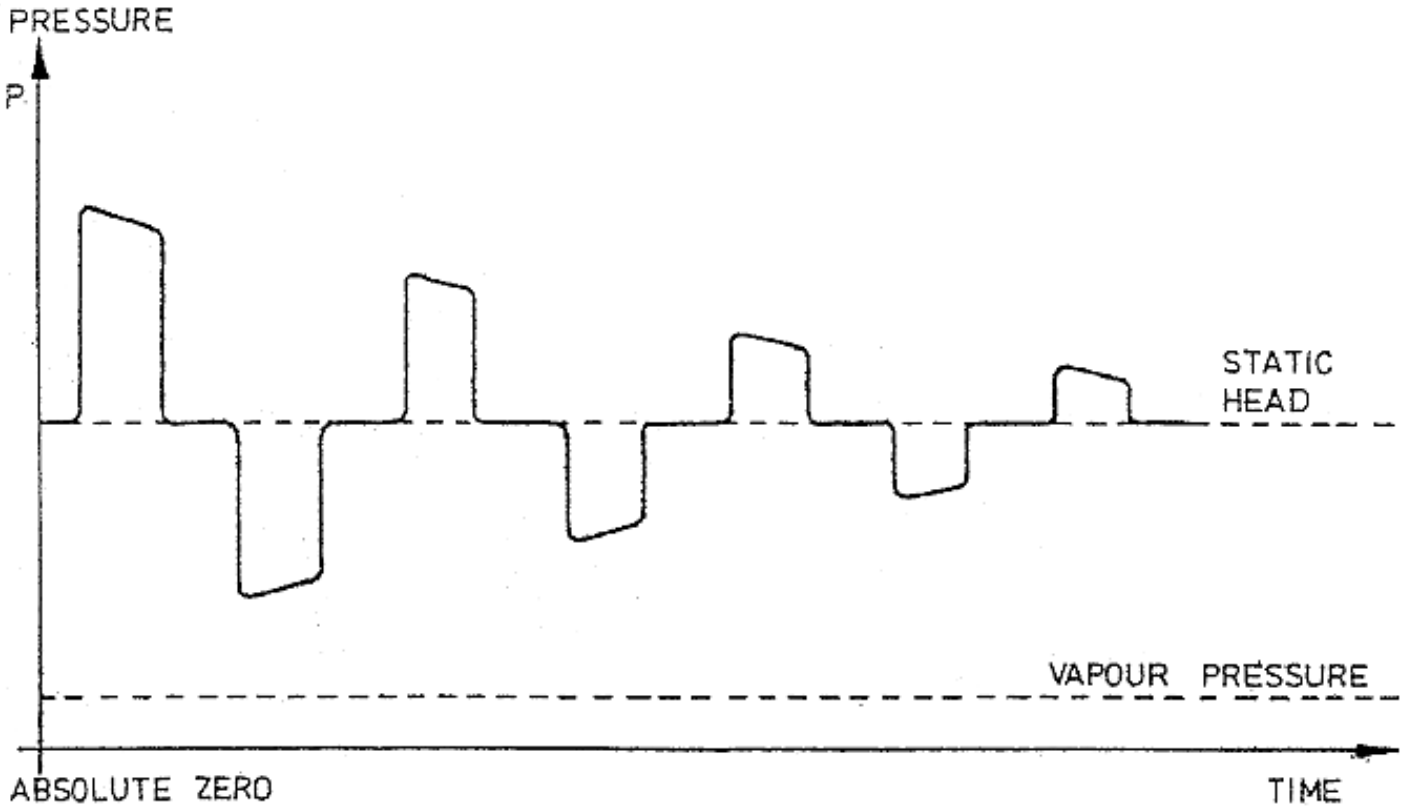
انرژی و فشار ثانویه در یک پروسه تکرار شده و به صورت زیر است:



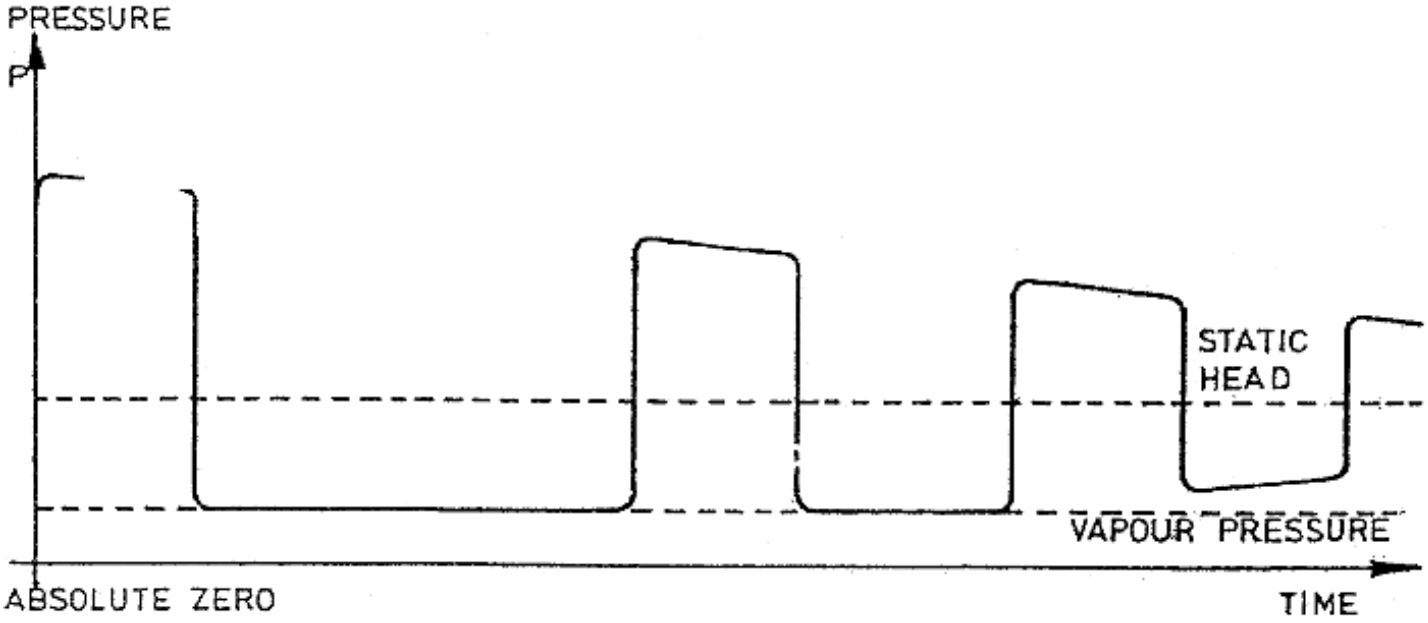
امواج فشاری ضربه قوچ تئوریک در یک شیر در سیستمی ایده آل



امواج فشاری ضربه قوچ تئوریک در یک شیر در سیستمی واقعی



امواج فشاری ضربه قوچ تئوریک در نقطه ای در طول لوله و در سیستمی واقعی



امواج فشاری ضربه قوچ تئوریک در شیر در سیستمی واقعی با هد استاتیک کم

$h_f = h_s - h_V$ و h_v حجم، V سرعت، $V(ms^{-1}),t(sec),q(V/t),h_s$

را داریم.

که ارتفاع های شفت تعادل پس از بسته شدن شیر بصورت:

$h_{1.....10}$ و زمان بین قرائت ها T_S و بیشینه ارتفاع تعادلی در بالای محور مبنا $Y = h_x - h_s$ و دوره زمانی نوسان

T_0 برابر $T_0 = 2 \times T_S$

از تئوری داریم:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{L.A}{g.a}}$$

$$Y = U\sqrt{\frac{L.A}{g.a}} - 0.6h_f$$

مشاهدات مربوط به دوره نوسان و ارتفاع شفت ضربه باید با مقادیر تئوریک مقایسه شده و از آن معادلات بالا مشتق شوند. از محاسبات گام به گام معادلات دیفرانسیلی حرکت سیال در ضربه قوچ آنالیز شده و مشاهدات آزمایشگاهی نیز ثبت و مورد بررسی قرار می گیرند.