دانشگاه صنعتی شریف

آزمایشگاه مکانیک سیالات

دانشکده مهندسی شیمی و نفت

26-201

داریوش باستانی

از خانم ها مائده معرفت اله و بهاره سادات توکلی که در تهیه این دستورکار با اینجانب همکاری نمودند تشکر و قدردانی می شود.

آزمایش اول :تحقیق در رابطه برنولی

هدف آزمایش:

بررسی رابطه برنولی به وسیله اندازه گیری سرعت و فشار در مقاطع مختلف یک ونتوری افقی و مقایسه آن با حالت تئوری.

تئوري آزمايش :

با در نظر گرفتن یک المان حجمی از سیال و نوشتن معادلات پیوستگی و ممنتوم برای آن و به کار بردن فرض های ساده کننده، به معادله زیر می رسیم:

$$\frac{dP}{\gamma} + dz + \frac{UdU}{g} = 0 \qquad (1\text{-}1)$$

با فرض ثابت بودن دانسیته سیال(تراکم ناپذیری سیال)، می توان از معادله بالا انتگرال گرفت:

$$\frac{P}{\gamma} + z + \frac{U^2}{2g} = cons\tan t \qquad (2\text{-}1)$$

$$\Rightarrow \quad \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{U_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{U_2^2}{2g} \qquad (3\text{-}1)$$

که در آن:

z : ارتفاع خط جریان از مبداء

U : سرعت خط جریان

P : فشار

g : شتاب ثقل

ρ : دانسیته سیال

$$\gamma = \rho \times g$$

معادله بالا بر فرضیات زیر استوار است:

1- معادله برای سیال تراکم ناپذیر صادق است.

2- جریان یکنواخت فرض شده است.(steady state)

3- معادله در طول یک خط جریان بدست آمده است.

4- جریان بدون اصطکاک است.

5- کار مکانیکی روی سیستم انجام نمی شود.($W_0 = 0$)

معادله تصحیح شده برنولی برای جریان داخل لوله ها:

بسیاری از جریان های سیالات در حوضه مهندسی شامل جریان هایی هستند که توسط یک دیواره جامد تحت تأثیر قرار می گیرند و بنابراین شامل یک لایه مرزی هستند. مهمترین حالت این جریان ها، جریان داخل لوله ها است.

برای بسط دادن معادله برنولی به صورتی که حالات عملی فوق را نیز شامل شود، دو تصحیح لازم است. اولین تغییر(که از اهمیت کمتری برخوردار است)، تصحیح انرژی جنبشی به خاطر تغییر سرعت سیال بر حسب موقعیت نقطه نسبت به دیواره است(بیشترین سرعت در مرکز و کمترین سرعت در مجاور دواره است).دومین تصحیح(که اهمیت زیادی دارد)، تصحیح رابطه برنولی به علت وجود اصطکاک است.

1- تصحیح انرژی جنبشی:

در بررسی وضعیت جریان درون کانال های باز و بسته، اغلب تحلیل یک بعدی به کار می رود. کل جریان به صورت یک لوله بزرگ با سرعت متوسط V در هر مقطع در نظر گرفته می شود، اما این انرژی جنبشی در واحد وزن برحسب هد سرعت متوسط سیال(یعنی $V^2/2g$) برابر مقدار متوسط $U^2/2g$ روی تمام سطح مقطع نمی شود. بنابراین لازم است که یک ضریب تصحیح α برای جمله $V^2/2g$ چنان محاسبه کنیم که $\alpha V^2/2g$ برابر متوسط انرژی جنبشی در واحد وزن سیال گذرنده از هر سطح مقطع باشد:

$$\alpha = \frac{1}{A}\int_A \left(\frac{U}{V}\right)^3 dA \qquad (4\text{-}1)$$

که در آن:

V: سرعت متوسط سیال

A : سطح مقطع جریان

می باشد.

$$\alpha_{Laminar} = 2$$

$$\alpha_{Turbulent} = 1.01 - 1.10$$

2- تصحیح رابطه برنولی به خاطر وجود اصطکاک:

اصطکاک اثر خود را به صورت کاهش انرژی مکانیکی در یک سیال نشان می دهد. بر اساس قانون بقای انرژی، مقداری حرارت معادل کاهش انرژی مکانیکی تولید می شود. اصطکاک سیال می تواند به عنوان هر نوع تبدیل انرژی مکانیکی به حرارت در جریان سیال تعریف شود. برای سیالات تراکم ناپذیر، رابطه برنولی با افزودن یک جمله به سمت راست معادله 3 ، تصحیح می شود.

$$\frac{P_a}{\rho g} + z_a + \alpha_a \frac{\overline{V_a^2}}{2g} = \frac{P_b}{\rho g} + z_b + \alpha_b \frac{\overline{V_b^2}}{2g} + h_f \qquad (5\text{-}1)$$

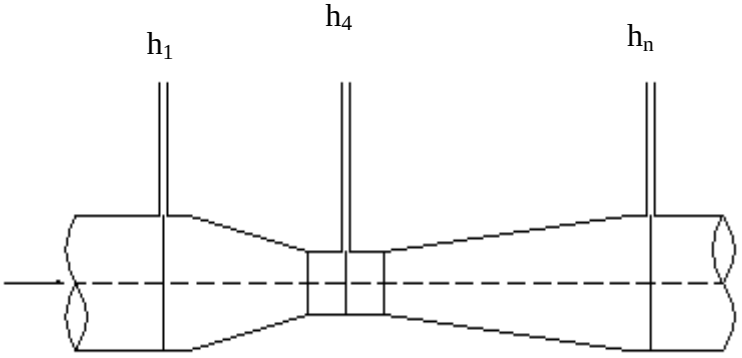
که در این رابطه h_f افت انرژی به ازاء واحد وزن سیال است.

ونتوري لوله اي است كه سطح مقطع آن بتدريج كم ميشود و بعد از قسمت باريك شده لوله (گلوگاه) دوباره سطح مقطع آن اضافه شده تا به قطر اوليه مي رسد. در اين آزمايش علاوه برآشنايي با ونتوري و تغييرات فشار در قسمت هاي مختلف آن، مدرج كردن يك ونتوري متر به عنوان وسيله اي جهت اندازه گيري دبي در لوله ها نيز انجام مي شود.

در شكل (1) يك جريان ايده آل مايعي در لوله ونتوري نشان داده شده است. اگر a_1 ,a_4 , a_n به ترتيب سطح مقطع لوله ونتوري در مدخل ورودي، گلوگاه و مقطعي اختياري و همچنين h_1 , h_4 , h_n ارتفاعات پيزومتري در اين مقاطع باشند با صرفنظر كردن از افت انرژي در لوله ونتوري و ثابت فرض كردن سرعت و ارتفاعات پيزومتري در هر مقطع مي توان رابطه برنولي و پيوستگي را بين دو مقطع نوشت و با حذف يكي از سرعت ها در دو رابطه فوق رابطه (1-6) را نتيجه گرفت و سپس دبي ايده آل جريان را از رابطه(1-7) بدست آورد.

$$u_4 = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_4)}{1-(a_4/a_1)^2}} \qquad (6\text{-}1)$$

$$Q_4 = a_4 u_4 = a_4 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_4)}{1-(a_4/a_1)^2}} \qquad (7\text{-}1)$$



شكل1

با توجه به افت انرژي بين مقاطع1 و 4 و ثابت نبودن سرعت ها در هر مقطع، مقدار واقعي دبي جريان كمتر از مقدار بدست آمده از رابطه (1-7) مي باشد. براي برطرف نمودن اثراث فوق ضريبي بنام (ضريب دستگاه) كه با C نشان داده ميشود به طرف دوم رابطه (1-7) اضافه كرده و عملاً بصورت رابطه (1-8) مورد استفاده قرار مي گيرد.

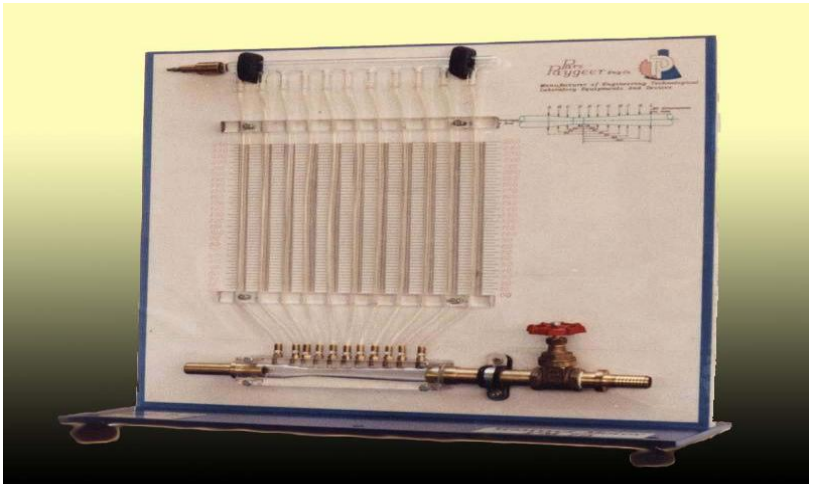
$$Q = Ca_4 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_4)}{1-(a_4/a_1)^2}} = CQ_t \qquad (8\text{-}1)$$

به كمك رابطه برنولي و معادله پيوستگي بين مقاطع ورودي و هر مقطع اختياري ديگر مي توان فشار ايده- آل را در طول لوله ونتوري بصورت رابطه (1-9) بدست آورد.

$$\frac{h_n - h_1}{u_4^{\,2}/2g} = (\frac{a_4}{a_1})^2 - (\frac{a_4}{a_n})^2 \qquad (9\text{-}1)$$

شرح دستگاه و روش آزمايش :

در اين آزمايش براى بررسى معادله برنولى از يک ونتورى متر استفاده مى شود. شكل (2) نشان دهنده دستگاه ونتوري مي باشد. در طول لوله ونتوري يازده پيزومتر جهت اندازه گيري فشار در نقاط مختلف ونتوري نصب شده است. توسط تلمبه كردن هوا از مسيري در بالاي پيزومترها ميتوان سطح آب در شاخه هاي پيزومتري را در مقياس مدرج پشت آنها قرار داد. در ونتوري مترهائي كه براي اندازه گيري دبي جريان بكار مي روند. فقط دو پيزومتر يكي در ورودي و ديگري در گلوگاه ونتوري نصب ميشود زيرا اندازه گيري دبي فقط بستگي به مقدار ارتفاع متناظر با فشار اين دو مقطع دارد تغييرات دبي جريان توسط شير كنترل در قسمت خروجي ونتوري انجام مي گيرد.



شكل (2) دستگاه ونتوري متر

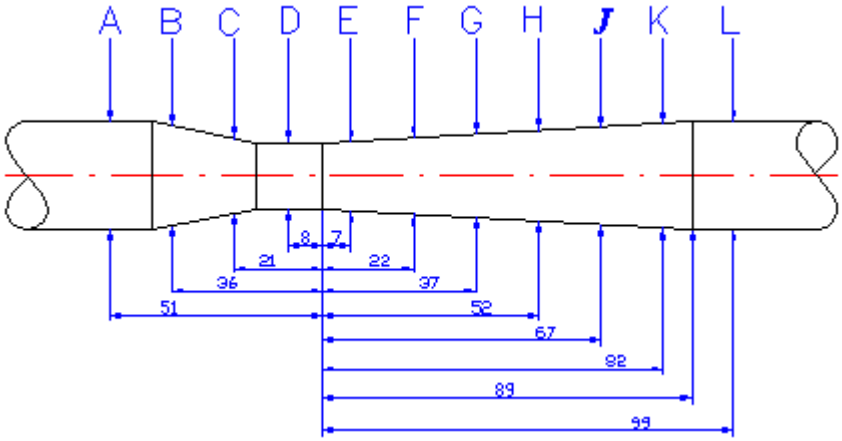
قبل از شروع آزمايش لازم است دستگاه تنظيم و تراز گردد. اولين مرحله آزمايش وقتي است كه شير كنترل جريان ونتوري باز باشد كه سطح آب در پيزومتر اول در محدوده بالايي مقياس و در پيزومتر چهارم (پيزومتر گلوگاه) در محدوده پائين مقياس مدرج قرار گيرد.

مقدار دبي واقعي جريان توسط ميز آزمايشگاهي قابل تعيين است. با تعيين h_1 , h_4 و داشتن ابعاد ونتوري مي توان مقدار دبي ايده آل(Qt) را از رابطه (7-1) بدست آورد. از مقايسه با دبي واقعي ونتوري در رابطه (8-1) مي توان مقدار C را بدست آورد.

بهتر است آزمايش فوق در ده مرحله مرحله انجام داد. براي اين منظور در هر مرحله شيرخروجي ونتوري را طوري مي بنديم كه مقدار $h_1 - h_4$ به اندازه 0.1 مقدار مرحله اول كاهش يابد.

براي تعيين توزيع فشار واقعي در طول لوله ونتوري و مقايسه آن با رابطه (9-1) بهتر است كه هنگام انجام مراحل فوق در دو مرحله، تمام پيزومترها يادداشت شوند. انتخاب اين مرحله بهتر است كه در محدوده دبي هاي زياد باشد. قطر لوله مقاطع مختلف ونتوري و محل انشعاب هاي پيزومترها در شكل (3) نشان داده شده است.

Piezometer Tube No.n	Diameter
A(1)	26.00
B	24
C	18.40
D	16.00
E	16.80
F	18.47
G	20.16
H	21.84
J	23.53
K	25.21
L	26



شکل (3) قطر مقطع مختلف محل پیزومترها بر حسب میلیمتر

با مشخص بودن مقاطع مختلف ونتوری، سرعت متوسط در هر مقطع محاسبه می گردد. فشار در مقاطع مختلف و در طول ونتوری توسط پیزومترها قابل اندازه گیری است. با توجه به مبداء سنجش ارتفاع (که خطکش پشت پیزومترها است)، می توان گفت که ارتفاع آب داخل پیزومترها معرف $\frac{P}{\gamma}+z$ برای آن مقطع است. به این ترتیب می توان معادله برنولی را در روی این دستگاه به طور عملی تحقیق کرد.

نتایج و محاسبات:

1- در هر دبی کمیات $\frac{P_1}{\rho}$ ، $\frac{V^2}{2g}$ و در نتیجه ارتفاع نظیر کل را در پیزومتر شماره 1 بدست آورید.

2- با استفاده از تئوری آزمایش و نتیجه قسمت (1)، $E_i, \frac{V_i^2}{2g}, \frac{P_i}{\rho}$ را برای مقاطع دیگر ونتوری محاسبه کنید.

3- نمایش تغییرات $E, \frac{V^2}{2g}, \frac{P}{\rho}$ را به صورت تابعی از فاصله با استفاده از محاسبات تئوریک قسمت (1) و (2) رسم نمایید.

4- با استفاده از اعداد آزمایش $E, \frac{V^2}{2g}, \frac{P}{\rho}$ را در هر مقطع بدست آورید و نمایش تغییرات این کمیات را بر حسب فاصله در همان صفحه میلیمتری قسمت (3) با رنگ دیگری رسم کنید.

5- در هر دبی ارتفاع نظیر انرژی کل تلف شده را بدست آورید.(ارتفاع انرژی کل در پیزومترهای اول و آخر)

آزمایش دوم: دستگاه اصطکاک در لوله ها

هدف آزمایش :

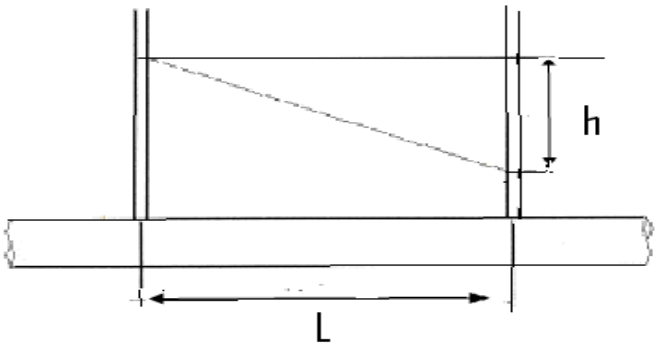
هدف ازاین آزمایش بررسی قوانین موجود در مورد مقاومت اصطکاکی در مقابل حرکت سیال بر حسب نوع جریان می باشد . همچنین می توان توسط معادله پواسلی(Hagen-poiseuille) برای جریان آرام (لایه ای) ضریب ویسکوزیته و توسط رابطه دارسی ضریب اصطکاک را تعیین نمود .

تئوری آزمایش :

افت انرژی در اثر اصطکاک در داخل یک لوله مستقیم بصورت کاهش فشار ظاهر می شود. اگر جریان مایعی از لوله شکل (1)عبور کند اختلاف ارتفاع سطوح مایعات (h) در پیزومتر های A و B معرف افت انرژی اصطکاکی یا افت فشار (به ازاء واحد وزن سیال جاری) می باشد .

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

$$h = h_1 - h_2$$



شکل (1) افت فشار درطول L

برای جریان آرام در لوله داریم:

$$h / L = 32\mu u / \rho g D^2 \qquad (1\text{-}2)$$

μ ویسکوزیته

u سرعت متوسط سیال در داخل لوله

ρ دانسیته سیال

D قطر لوله

$$\mathrm{Re} = \rho u d / \mu \qquad (2\text{-}2)$$

$$h / L = \left(\frac{64}{\mathrm{Re}}\right) \times \left(\frac{u^2}{2gD}\right) \qquad (3\text{-}2)$$

برای جریان آشفته از رابطه دارسی استفاده می شود:

$$h/L = \left(\frac{f}{D}\right) \times \left(\frac{u^2}{2g}\right) \qquad (4\text{-}2)$$

f ضریب اصطکاک لوله

مقدار f برای جریان آرام تنها به Re بستگی دارد.

$$f = 64/\mathrm{Re} \qquad (5\text{-}2)$$

f در جریان آشفته تابعی است از زبری نسبی داخلی لوله و عدد رینولدز جریان

$$f = F(\mathrm{Re}, \varepsilon/d) \qquad (6\text{-}2)$$

Colbrook Equation:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2Log\left(e/d + \frac{9.28}{\mathrm{Re}\sqrt{f}}\right) \qquad (7\text{-}2)$$

Re <2100	laminar
2100 <Re <5000	transition
5000<Re	turbulent

برای لوله های صاف در صورتی که عدد رینولدز بین 5×10^4 تا 10^6 باشد می توان از معادله تجربی زیر برای محاسبه f استفاده نمود.

$$f = \frac{0.046}{\mathrm{Re}^{0.2}} \qquad (8\text{-}2)$$

درعمل رابطه h/L بر حسب سرعت را بصورت رابطه زیر نشان می دهند که k و n برای یک جریان و لوله معین ثابت می باشد .

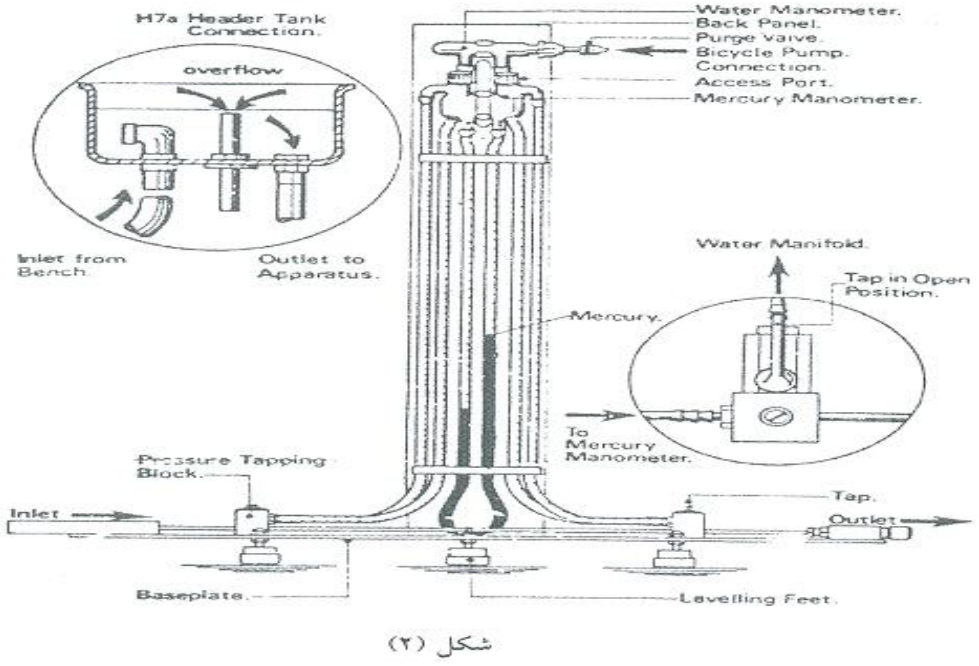
$$h/L = Ku^n \qquad (9\text{-}2)$$

مقدار n در ناحیه جریان آشفته بین1.7 تا 2 می باشد .

شرح دستگاه :

شکل (2) شمای دستگاه مورد آزمایش را نشان می دهد. توسط مانومترهای تفاضلی جیوه ای و آبی روی دستگاه می توان افت فشار بین دونقطه ازیک لوله مستقیم بطول 500 میلیمتر ، قطر اسمی 3 میلیمتر و سطح مقطع 7.06 میلیمتر مربع را اندازه گرفت .

واضح است که در افت فشار های کم (معمولاً جریان آرام) از مانومتر تفاضلی آبی و درافت فشارهای زیاد (معمولاً جریان آشفته) از مانومتر های تفاضلی جیوه ای استفاده می شود . برای اندازه گیری دبی آب درلوله از یک ظرف مدرج و کرونومتر استفاده می شود. تغییرات دبی توسط یک شیر سوزنی در قسمت خروجی لوله انجام می گیرد . برای برقراری جریان (معمولا) آرام از تانک آب درارتفاع ثابت استفاده می شود و برای برقراری جریان (معمولاً) آشفته خروجی پمپ را مستقیماً به لوله اصلی وصل می کنند .



شکل (۲)

شکل (2) شمای دستگاه اصطکاک در لوله ها

روش آزمایش:

قبل از شروع آزمایش ابتدا می بایست دستگاه را هوا گیری نمود این کار توسط تکنسین آزمایشگاه صورت خواهد گرفت.سپس آزمایش را در دو مرحله (که دریکی معمولاً جریان آرام است و دردیگری معمولاً جریان آشفته) انجام می دهیم .

برای انجام مرحله اول آزمایش خروجی پمپ میز آزمایشگاهی را به تانک آب در ارتفاع ثابت وصل می نماییم و سپس توسط لوله ای که درزیر این تانک قرار دارد آب را بداخل لوله مورد آزمایش هدایت می کنیم. توسط مانومتر تفاضلی آبی می توان افت فشار (افت هد) را قرائت نموده و نتیجه را یادداشت کرد . توسط بستن تدریجی شیرسوزنی در انتهای لوله این مرحله از آزمایش رابرای چند دبی مختلف انجام دهید. اندازه گیری دبی در هر مرحله توسط ظرف مدرج و کرونومتر انجام می گیرد.

برای انجام مرحله دوم آزمایش خروجی پمپ را مستقیم به لوله اصلی وصل می کنیم .نظر به اینکه در چنین حالتی فشار خروجی پمپ درلوله مورد آزمایش اثر دارد لذا معمولاً جریان آشفته برقرار می شود. دراین مرحله چون افت فشار زیادتر

است از مانومتر تفاضلی جیوه ای برای تعیین آن استفاده می شود. توسط بستن تدریجی شیر سوزنی مستقر در انتهای لوله این مرحله از آزمایش را برای چند دبی مختلف انجام دهید مقدار دبی را می توان با استفاده از ظرف مدرج و کرونومتر تعیین نمود . لازم است که درطول آزمایش دمای متوسط آب را اندازه گیری شود .

نتایج و محاسبات :

نظر به اینکه افت فشار اندازه گیری شده در مرحله دوم آزمایش بر حسب میلی متر جیوه است لذا می بایست تفاضل ارتفاع مانومترها $(h_1 - h_2)$ در عدد13.55 ضرب گردد تا به میلی متر آب تبدیل گردد .

1.مقدار ضریب اصطکاک (f) را از رابطه دارسی بدست آورید. مقادیر f بدست آمده از رابطه دارسی را بر حسب عدد رینولدز (Re) رسم نمایید .به کمک نمودار زبری نسبی را بدست آورید.

2.تغیرات log h/L را بر حسب log u رسم کنید و مقدار n رابدست آورید.

3.به کمک رابطه poiseuille مقدار ضریب ویسکوزیته را بدست آوریدو با مقدار بدست آمده از نمودار 3 مقایسه کنید.

4.برای هر لوله از معادله colbrook زبری نسبی را بدست آورید و با داشتن d زبری مطلق را حساب کنید.

آزمايش سوم: افت ها در سيستم لوله كشي

هدف آزمايش :

هدف از اين آزمايش تعيين افت انرژي ناشي از اجزاء يك سيستم لوله كشي (مانند زانوئي، شير فلكه و تغييرات ناگهاني سطح مقطع لوله) و تعيين رابطه اي بين افت انرژي و سرعت مي باشد. بررسي تغييرات ضريب اصطكاك با عدد رينولدز ، ضريب افت با انرژي جنبشي و تأثير شعاع انحناء يك خم در مقدار افت انرژي محلي آن از مسائلي است كه در اين آزمايش مورد نظر مي باشد.

تئوري آزمايش :

افت انرژي كلي در يك سيستم لوله كشي ناشي از دو عامل است. يك افت انرژي طولي كه در اثر مقاومت نيروي چسبندگي سيال بوجود مي آيد(افت انرژی اصطکاکی) و ديگري افت انرژي در اثر عواملي از قبيل زانويي، شيرها يا تغييرات سطح مسير مي باشد.

1. افت انرژي طولي :

افت انرژي طولي در لوله اي مستقيم بطول L و قطر ثابت d از رابطه (1) بدست مي آيد.

$$\Delta h_f = f \frac{L}{d}.\frac{u^2}{2g} \qquad (1\text{-}3)$$

كه در آن f بدون بعداست.

مقدار f (ضريب اصطكاك) تابعي از عدد رينولدز جريان وزبري نسبي لوله ميباشد.در لوله هاي نسبتاً صاف و جرياني با عددرينولدز بين 5×10^4 تا 10^6 مقدار f را ميتوان ازرابطه زير بدست آورد.

$$f = \frac{0.064}{Re^{0.2}} \qquad (2\text{-}3)$$

2. افت انرژي در اثر تغيير ناگهاني سطح مقطع لوله :

اگر سطح مقطع یک کانال ناگهان بزرگ شود ، خطوط جریان سیال از دیواره جدا شده و به صورت یک جت وارد بخش بزرگتر می شوند . سپس این جت منبسط شده و کل سطح مقطع مجرای بزرگتر را پر می کند. فضای بین جت منبسط شده و دیواره ی مجرا از سیالی پر می شود که حرکت گردابی دارد و مشخصه ی جدایش لایه ی مرزی است . در این حالت اصطکاک قابل ملاحظه ای در این فضا ایجاد می شود.

برای انبساط ناگهانی :

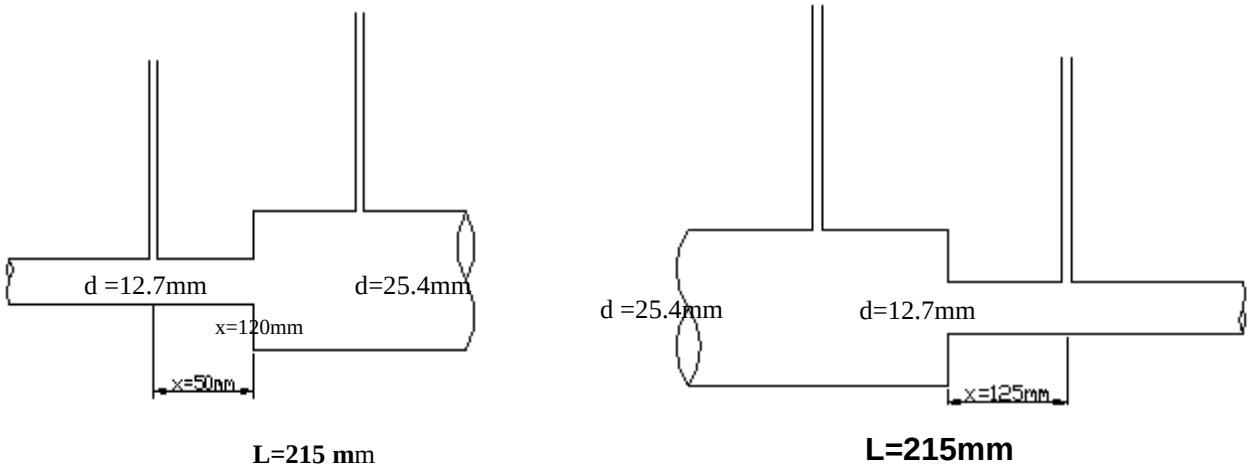
اگر افت انرژي در طول L از لوله برابر با Δh_f باشد و از افت انرژي جنبشي در قسمت با قطر بزرگتر صرفنظر شود با نوشتن رابطه برنولي بين دو پيزومتر نشان داده شده در شكل (1) ميتوان افت جزئي را از رابطه زير بدست آورد.

$$\Delta h_L = \Delta h' + \frac{u^2}{2g} - \Delta h_f\left(\frac{X}{L}\right) \qquad (3\text{-}3)$$

در روابط فوق u سرعت جريان درقسمت باريك تر لوله و $\Delta h'$ اختلاف ارتفاع پيزومترهاي ورودي و خروجي می باشد.
در عمل افت انرژي جزئي از رابطه (4-3) بدست مي آيد.

$$\Delta h_L = K_e \frac{u^2}{2g} \qquad (4\text{-}3)$$

كه در آن K_e ضريب افت انبساط ناميده مي شود.
وقتی که سطح مقطع مجرا ناگهان کاهش یابد ، جریان سیال نمی تواند گوشه های تیز را دنبال کند و در نتیجه تماس سیال با دیواره مجرا قطع می شود و در این حالت یک جت تشکیل می شود که به درون قسمت سیال ساکن در بخش کوچکتر جریان می یابد . این جت ابتدا منقبض شده و سپس منبسط می گردد و کل سطح مقطع کوچکتر را پر می کند و سرانجام در پایین دست جریان توزیع سرعت حالت معمولی خود را باز می یابد.



شكل (1) انبساط و انقباض ناگهانی

$$\Delta h_L = \Delta h' - \frac{u^2}{2g} - \Delta h_f\left(\frac{X}{L}\right) \qquad (5\text{-}3)$$

$$\Delta h_L = K_c \frac{u^2}{2g} \qquad (6\text{-}3)$$

جدول (1) تغييرات ضريب افت K_c براي انقباض ناگهاني را نشان مي دهد.

A2/A1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1
K_c	0.5	0.46	0.41	0.36	0.30	0.18	0.06	0

برای انقباض ناگهانی k_cجدول(1)مقادیر

3.افت انرژي در زانوها و خمها :

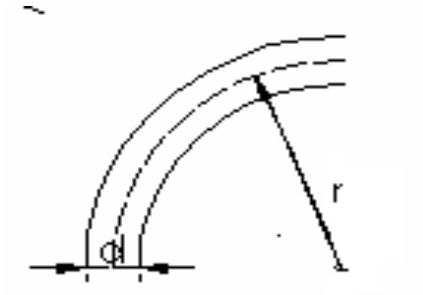
اگر در دو نقطه از مسير لوله ها كه بين آن ها زانوئي يا خم وجود داشته باشد دو پيزومتر نصب شود اختلاف ارتفاعي كه توسط دو پيزومتر مشخص ميشود مربوط به دو عامل است يكي افت انرژي طولي و ديگري افت جزئي در اثر زانويي. اگر افت انرژي طولي بين دو نقطه Δh_f و افت جزئي Δh_b و اختلاف ارتفاع پيزومترها $\Delta h'$ باشد رابطه (7) بين دو نقطه برقرار است.

$$\Delta h_b = \Delta h' - \Delta h_f \qquad (7\text{-}3)$$

در عمل افت انرژي جزئي زانوئي را از رابطه (8) بدست ميآورند.

$$\Delta h_b = K_f \frac{u^2}{2g} \qquad (8\text{-}3)$$

كه در آن K_f ضريب افت و ثابت مي باشد.مقدار ضريب افت زانوئي يا خم به نسبت شعاع زانوئي (r) و به قطر لوله (d) بستگي دارد. جدول (2) تغييرات ضريب افت (K_f) را بر حسب نسبت r/d نشان ميدهد.



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

جدول (2) تغييرات K_f بر حسب r/d در زانويی ها

4. افت انرژي در شيرها :

اتصالات و شيرها، خطوط جريان معمولی را مختل كرده و سبب ايجاد اصطكاک می شوند. در يک خط لوله كوتاه با اتصالات زياد ، افت اصطكاک ناشی از اتصالات ممكن است بيشتر از افت اصطكاک خود لوله باشد . افت انرژی جزئی در شيرها بستگی به نوع ساختمان آن دارد.

افت جزئی شيرها از رابطه زير بدست می آيد.

$$\Delta h_L = k_f u^2 / 2g \qquad (9\text{-}3)$$

سرعت متوسط در لوله ای است كه به اتصال u ختم می شود.

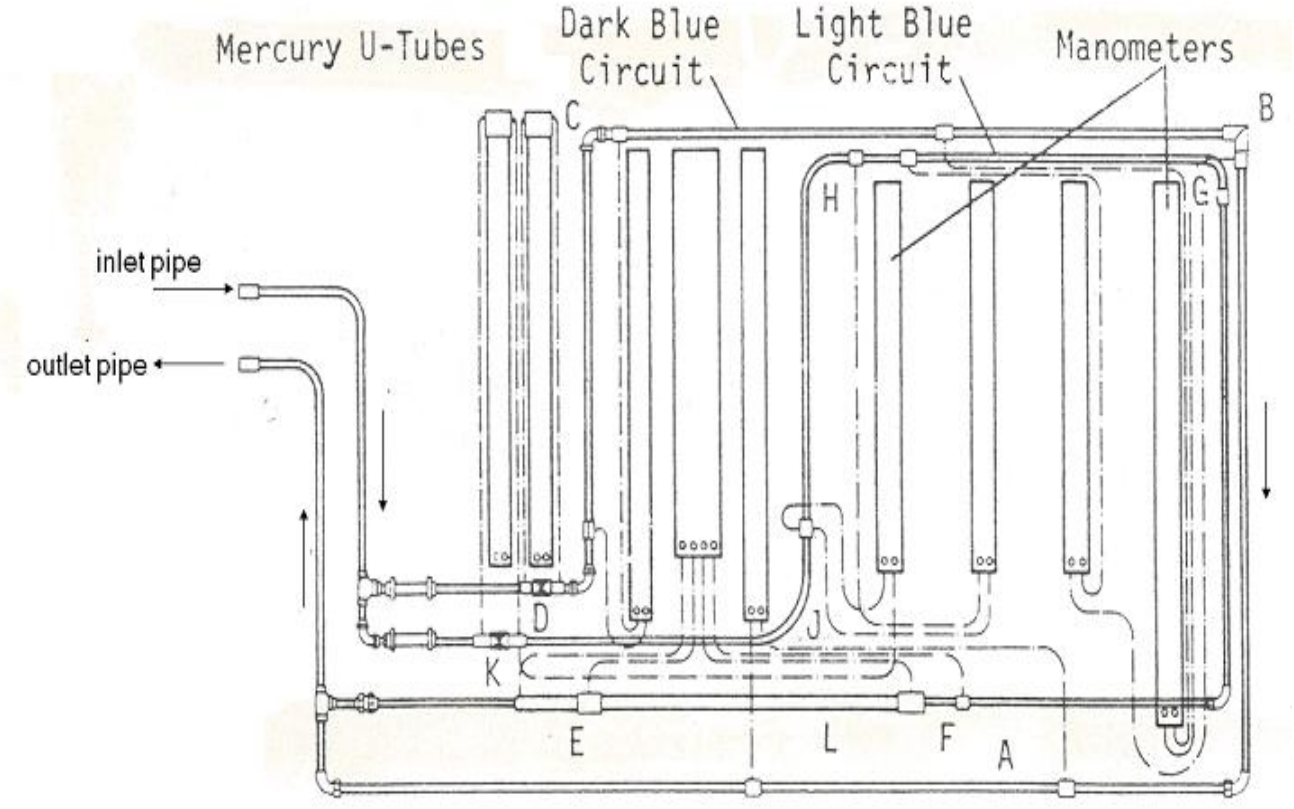
مقدار K_f در شيرها ثابت نمي باشد بلكه به نوع شير و مقدار باز بودن آن بستگي دارد.جدول (3) مقادير ضرايب افت K_f را براي بعضی از اتصالات مشخص مي كند.

نوع اتصال	K_f
شير كروي – كاملاً باز	**10.0**
شير دريچه اي-كاملاً باز	**0.2**
شير دريچه اي-نيمه باز	**5.6**
زانويی 90	**0.4**

جدول (3) مقادير K_f برای بعضی اتصالات

شرح دستگاه:

دستگاه مورد آزمايش از دو مدار هيدروليكي جداگانه يكي به رنگ آبي روشن و ديگري آبي تيره تشكيل شده است. در هر يك از مدارها تعدادي اتصالات قرارداده شده است. شكل (2) نشان دهنده تابلوئی است كه مدارات در روي آن نصب شده است.



شكل (2) شماي دستگاه

D	شير دريچه اي gate valve	مانومترجيوه اي و آبی1
C	زانوي 90 درجه استاندارد	4
A	لوله مستقيم به قطر 12.7 و بطول 620 mm	7
B	زانوي 90 درجه راستگوشه	9
K	شيركروي globe valve	مانومترجيوه اي وآبی2
E	بهmmانبساط ناگهاني از قطر12.7 25.4mm	3-1
F	mmبه12.7 mmانقباض ناگهانی از قطر 25.4	3-2
J	mm150زانوي 90 درجه به انحناء شعاع	6
H	mm100زانوي 90 درجه به انحناء شعاع	5
G	mmزانوي 90 درجه به انحناء شعاع50	8

جدول (4) مشخصات و ابعاد لوله ها در روي تابلو دستگاه

مدار آبي تيره روي تابلو شامل قسمتهاي زير است :

1- شير دريچه اي (gate valve)

2- زانوئي 90 درجه استاندارد

3- زانوئي 90 درجه راستگوشه (mitre)

4- لوله مستقيم بطول 620 mm

مدار برنگ آبي روشن شامل قسمتهاي زير است :

5-شيركروي

6-انبساط ناگهاني

7- انقباض ناگهاني

8- خمهاي 90 درجه به شعاع 50 ، 100 و150 ميليمتر

در تمام اتصالات فوق (به جز دو نوع شير) افت فشار توسط يك جفت پيزومتر تحت فشار هوا اندازه گيري مي شود. ليكن تعيين افت فشار شيرها توسط مانومتر تفاضلي جيوه اي تعيين مي شود. يادآوري ميشود كه اگر مانومتر تفاضلي جيوه اي اختلاف ارتفاع $\Delta h'$ را نشان دهد براي تبديل آن بر حسب ستون آب مي بايست آنرا در عدد 13.55 ضرب نمود.

روش آزمايش:

قبل از شروع آزمايش مي بايست دستگاه را تنظيم نمود و سپس آزمايش را در دو مرحله انجام داد. در مرحله اول شير كروي را بسته و شير دريچه اي را بطور كامل باز كنيد تا حداكثر جريان آب در مدار برنگ آبي تيره برقرار شود. حال توسط قرائت پيزومترها ميتوان افت انرژي كلي و سپس افت انرژي جزئي هر اتصال موجود در مدار فوق را تعيين نمود.

براي بررسي تغييرات افت انرژي نسبت به انرژي جنبشي آب جاري در لوله، به تدريج شير دريچه اي را ببنديد و هر بار سطوح آب در پيزومترها را يادداشت نمائيد. در طول مراحل فوق دماي متوسط آب را اندازه گيري نمائيد. بعد از انجام قدمهاي فوق شير دريچه را كاملاً بسته و مرحله دوم آزمايش را بصورت زير انجام دهيد.

در مرحله دوم آزمايش شير كروي را كاملاً باز كنيد سپس توسط يادداشت نمودن پيزومترها و اندازه گيري دبي مي توان افت انرژي كلي و افت انرژي جزئي هر اتصال موجود در مدار آبی روشن را تعيين نمود.

براي بررسي تغييرات افت انرژي جزئي نسبت به انرژي جنبشي آب جاري در لوله بتدريج شير كروي را ببنديد و هر بار سطوح آب در پيزومترها را يادداشت نموده و دبي را اندازه گيري نمائيد اين عمل را حدوداً 10 بار تكرار نماييد.

در خاتمه آزمايش، دو شير را كاملاً بسته و شير خروجي پمپ را هم ببنديد و سپس پمپ را خاموش نمائيد توجه داشته باشيد كه قبل از خاموش كردن پمپ, بستن هر دو شير ضروري است.

نتايج و محاسبات:

1. مقدار $\log Q$ و$\log \Delta h$ را در سيستم واحدي cgs براي لوله مستقيم تعيين نماييد.اگر Δh_f متناسب با Q^n باشد مقدار n را از نمودار رسم شده بدست آوريد.

2. بكمك شكل (3) مقدار ضريب ويسكوزيته آب را در دماي متوسط آزمايش تعيين نمائيد حال با داشتن رابطه سرعت و افت انرژي طولي مقدار عدد رينولدز و ضريب اصطكاك را از رابطه (1) براي هر مرحله بدست آوريد و سپس جدول (7) را تكميل نمائيد.

3 . تغييرات ضريب اصطكاك بر حسب عدد رينولدز (دياگرام مودي) را رسم نمائيد.

4.افت انرژي جزئي انبساط و انقباض ناگهاني لوله را بر حسب انرژي جنبشي سيال جاري رسم نموده و بكمك اين دو نمودار مقدار ضريب افت K_f را براي هر كدام بدست آوريد.

5. مقادير انرژي جنبشي ، افت انرژي طولي (Δh_f) و افت هاي (Δh) زانوئي راستگوشه و استاندارد را بدست آوريد. همچنين بكمك جدول داده هاو نمودارها رسم شده مقادير انرژي جنبشي افت انرژي طولي و افت هاي خمها را بدست آوريد. حال بكمك رابطه (7) افت جزئي هر قسمت را در هر مرحله محاسبه نمائيد.لازم به ذكراست كه فواصل پيزومترهاي ورودي وخروجي هر زانوئي ياخم620 ميليمتر مي باشد.لذا افت طول آن (h) برابر با افت طولي لوله مستقيم بطول 620 ميليمتر است.

6. تغييرات افت انرژي جزئي هر زانوئي را بر حسب انرژي جنبشي رسم نمائيد و سپس مقادير ضريب افت هر قسمت را بدست آورده و تغييرات ضريب افت هر قسمت را بر حسب نسبت r/d رسم نمائيد. مقاديراين نمودار تجربي را با جدول (2) مقايسه كنيد.

7. بكمك جدول داده ها و رابطه (9) تغييرات ضريب افت (K_f) را بر حسب نسبت سرعت به سرعت حداكثر V / V_{max} رسم نمائيد.

8. منحني $\log h_f$ بر حسب $\log Q$ را با منحني لوله غير زبر $f = \frac{0.046}{Re^{0.2}}$ مقايسه كنيد؟

9. آيا افت انرژي در انبساط ناگهاني هميشه از افت انرژي در انقباض ناگهاني بزرگتر است؟

10. از منحني تغييرات K_f بر حسب $\frac{u^2}{2g}$ براي زانوها چه نتيجه اى مي گيريد؟

11.طول معادل زانو ها و خم ها را بدست آوريد.

12. هر يك از شيرهاي زير چه خصوصياتي دارند و در عمل از هر كدام در چه مواردي استفاده مي شود ؟

الف) شير ساچمه اي

ب) شير پروانه اي

ج) شير دروازده اي

د) شير كروي

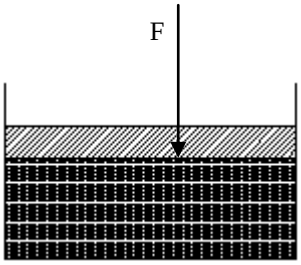
آزمایش چهارم:کالیبراسیون فشارسنج

هدف آزمایش :

بررسي رابطه فشار و نيرو **(P = F/A)** **(1-4)**

تئوري آزمايش :

فشار وارد بر يك سيال در يك نقطه برابر است با نسبت نيروي اعمال شده بر سطح مقطع سيال در آن نقطه:



که در این رابطه F نیروي وارد بر سطح A, (N) سطح اعمال نیرو (m^2) و P فشار وارد بر سیال (pa) میباشد.

از طرفي قانون پاسکال بیان میکند که :

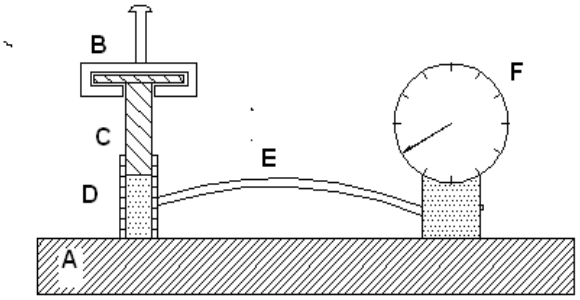
هر تغییری در فشار اعمال شده بر یک سیال تراکم ناپذیر محبوس به هر بخش از سیال و به دیواره های ظرف انتقال می یابد و فشار وارد بر یک سیال در یک محفظه ی محدود (ظرف بسته) در تمام نقاط داخل محفظه و در همه جهت ها یکسان است.

$$Px = Py = Pz \qquad (2\text{-}4)$$

بنابراین با اتصال محفظه سیال به يك فشارسنج میتوان فشار سیال را اندازه گیري نمود و این فشار با توجه به قانون پاسکال در نقاط مختلف یکسان است.

شرح دستگاه :

قسمتهاي مختلف دستگاه شامل يك پايه فلزي (A)، كف بارگذاري (B)، پيستون (C) ، سيلندر روغني (D)، شيلنگ رابط (E)، بوردون گيج (F) و پيچ تخليه روغن جهت جلوگيري (G) ميباشد.



روش انجام آزمايش :

وزنه معلومي روي كفه بار گذاري قرارداده و كفه را چرخش مي دهيم تا پيستون (B) در راستاي قائم قرار گيرد. در اين حالت عدد فشارسنج را قرائت مي كنيم.آزمايش را براي وزنه هاي مختلف تكرار مي كنيم.

خواسته هاي آزمايش:

1.با توجه به جدول داده ها منحني هاي P_A و P_g را بر حسب F در يك دستگاه مختصات رسم و با هم مقايسه كنيد.

مجموع وزن كفه بار گذاري پيستون = 0.18 Kg

آزمایش پنجم: نیروهای وارد بر یک جسم غوطه ور در مایع ساکن

هدف آزمایش:

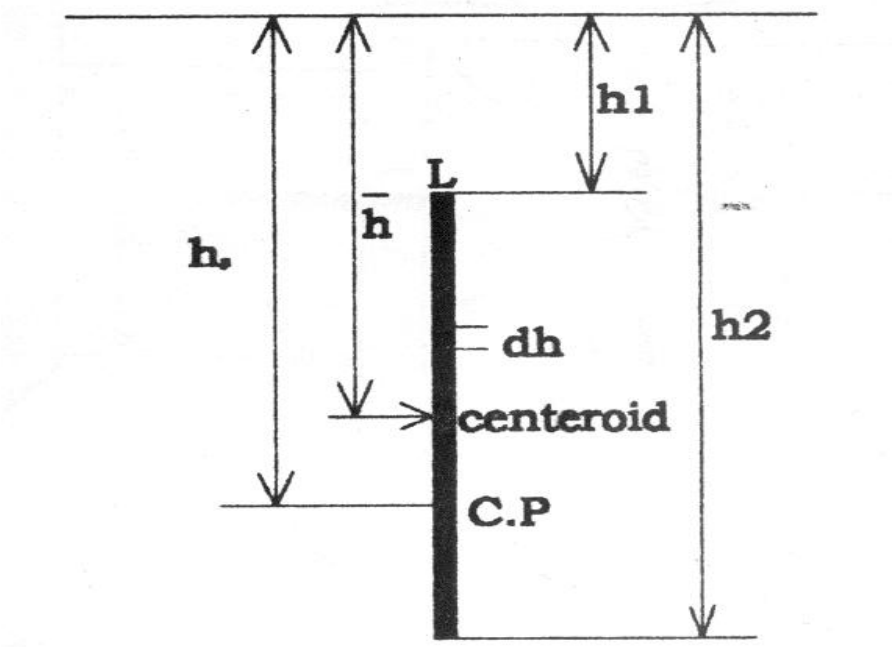
هدف ازاین آزمایش بررسی روابط مربوط به محاسبه نیروی وارد بر یک سطح مستطیلی از طرف سیال ساکن و تعیین نقطه اثر آن(مرکز فشار) می باشد .

تئوری آزمایش:

دستگاه فشار هیدرواستاتیکی برای تعریف فشار استاتیکی اعمال شده توسط سیال بر یک سطح غوطه ور و مقایسه محل و مقدار نیروی اندازه گیری شده با تئوری ، طراحی شده است.از جمله قابلیت های دستگاه اندازه گیری مرکز فشار برای سطح کاملا غوطه ور و یا شناور و مقایسه آن با مرکزفشار تئوری است.

در یک سیال ساکن فشار هر نقطه متناسب است با فاصله قائم آن نقطه تا سطح آزاد سیال یعنی

$$dp/dz=-\rho g/g_c \qquad (1\text{-}5)$$



صفحه LL' به مساحت A که در شکل نشان داده شده است ، در نظر می گیریم . فاصله مرکز سطح این صفحه تا سطح آزاد مایع $\bar{h}$ می باشد . نیروی df وارد بر المانی به سطح dA به فاصله h از سطح آزاد مایع از رابطه زیر بدست می آید.

$$dF = PdA = \rho ghdA/g_c \qquad (2\text{-}5)$$

نیروی کل وارد بر سطح A با انتگرال گیری از dF بدست می آید.

$$F = \frac{\rho g}{g_c} \int_A h dA \qquad (3\text{-}5)$$

$$\bar{h} = \frac{1}{A} \int h dA \qquad (4\text{-}5)$$

بنا به تعریف

که $\bar{h}$ فاصله مرکز سطح تا سطح مایع است . مرکز سطح یک جسم تنها به شکل هندسی آن بستگی دارد . بنابراین نیروهای وارد بر سطح A از رابطه زیر بدست می آید.

$$F = \frac{\rho g}{g_c} A\bar{h} \qquad (5\text{-}5)$$

چون مایع در حالت سکون است . هیچ تنش برشی موجود نیست و جهت نیروی F عمود بر صفحه 'LL خواهد بود و نقطه اثر آن را می توان از تساوی گشتاور نیروی F حول نقطه با مجموع گشتاورهای نیروهای dF حول همان نقطه مطابق رابطه زیر بدست آورد.

$$Fh_p = \int h.dF \qquad (6\text{ -}5)$$

که در این رابطه h فاصله نیروی dF تا سطح آزاد مایع و h_p مرکز فشار یعنی فاصله نقطه اثر نیروی F تا سطح آزاد مایع است .

$$h_p = 1/F \int h.(PdA) \qquad (7\text{-}5)$$

برابراست : dA در نظر گرفته شود مقدار w برای صفحه با عرض dh اگر المانی با ضخامت

$$dA = wdh \qquad (8\text{-}5)$$

$$A = w(h_2 - h_1) \qquad (9\text{- }5)$$

$$h_p = (g_c \int (\rho g / g_c h) h w dh) / \rho g \bar{h} A \qquad (10\text{- }5)$$

$$h_p = w \int h^2 dh / \bar{h} A \qquad (11\text{-}5)$$

$$h_p = w(h_2{}^3 - h_1{}^3) / 3\bar{h} A$$

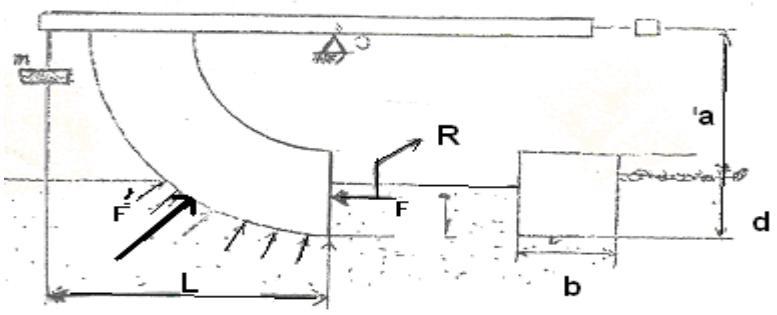
$$h_p = h_2{}^2 + h_1{}^2 + h_1 h_2 / 3\bar{h}$$

شرح دستگاه

دستگاه مورد آزمایش از یک تانک مکعب مستطیل شکل با سطوح جانبی شفاف و یک جسم معلق به شکل QUADRANT تشکیل شده است و با اهرم بندی نشان داده شده می توان مقدار نیروها را حساب کرد . در گشتاور گیری نیروها حول لولا تنها نیروی وارد بر سطح مستطیل شکل به حساب می آید مقدار این نیرو برابر است با :

$$F = \rho g A \bar{h} / g_c \qquad (12\text{-}5)$$

غوطه وری جزئی

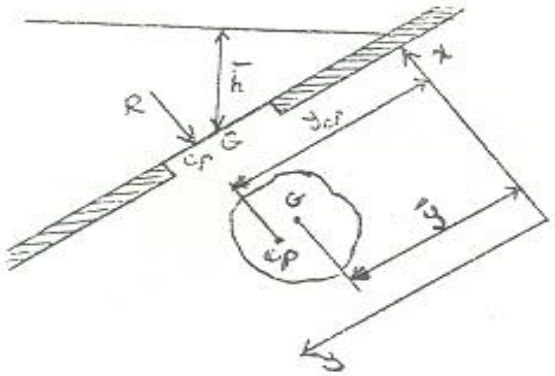


a = 13.6 cm d=9.97cm b=9.2cm L=39.5 cm

برای بدست آوردن محل اعمال نیرو از روابط زیر استفاده می کنیم:

$$y_{cp} = \bar{y} + \frac{I_G}{\bar{y}A} \qquad (13\text{-}5)$$

$$x_{cp} = \bar{x} + \frac{(I_{xy})}{\bar{y}A} \qquad (14\text{-}5)$$



اگر شکل سطح نسبت به محور Y ها تقارن داشته باشد I_{xy} صفر و در نتیجه $X_{cp} = \bar{x}$ است .

چون درعبارت (5-14) مقدار $\frac{I_G}{\bar{y}\ A}$ مثبت است y_{cp} همیشه بزرگتر از $\bar{y}$ است یعنی مرکز فشارهمیشه پایین تر از مرکز سطح قرار دارد از آنجا که جسم مورد بررسی دارای تقارن نسبت به محور Y است پس I_{xy} در فرمول (5-14) صفر است وامتداد مرکز فشار در راستای قائم منطبق برراستای قائم مرکز است .

روش آزمایش:

۱ - دقت کنید که ظرف در موقعیت افقی قرار داشته باشد .

با تغییر موقعیت وزنه تعادل شاخص را در موقعیت افقی قرار دهید .

به آهستگی به مخزن آب اضافه کنید (به نحوی که آب روی تیروئید نریزد)تا آب به لبه پایین تیروئید تماس پیدا کند.

سه بار و هر بار حدود 2سانتی متر آب به مخزن اضافه کنید و توسط اضافه کردن وزنه ها به کفه ، دستگاه را به حالت تعادل قرار دهید مقدار وزنه و ارتفاع آب را یادداشت کنید.

گزارش:

1.در هر حالت مقدار F نیروی وارد بر سطح غوطه ور در مایع را حساب کنید.

2.در هر حالت فاصله مرکز فشار تا سطح آزاد مایع را بدست آورید.

3. در هر حالت مقدار نیروی F را به وسیله ممان گیری نیروها حول محور تکیه گاه F به دست آورید سپس مقدار نیروی بدست آمده را با مقدار قسمت (1) مقایسه کنید و میزان خطارا بدست آورید .

4.منحنی تغییرات نیروی F را بر حسب عمق غوطه وری رسم نمایید.

5. منحنی تغییرات عمق مرکز فشار را بر حسب میزان عمق غوطه وری رسم نمایید.

6.برای یک حالت نیروی F و مرکز فشار را با استفاده از روش منشور فشار به دست آورده و آن را با مقادیر 1و2 مقایسه کنید.

7. رابطه ای که توسط آن بتوان نیروی F' و زاویه آن را حساب کرد به دست آورید و در هر حالت مقدار نیروی F' و زاویه آن را حساب کنید.

8. به چه علت نیروی F' در ممان گیری قسمت 3 ظاهر نمی شود.

آزمایش ششم :به هم پیوستن پمپ ها سری و موازی

هدف آزمایش :

هدف از این آزمایش بدست آوردن منحنی مشخصه یک پمپ و تعیین راندمان پمپ و به کار بستن سری و موازی پمپ ها و مقایسه آنها با یکدیگر است .

تئوری آزمایش:

پمپ ها یکی از متداول ترین انواع توربو ماشین های مصرف کننده قدرت می باشند. که در اکثر سیستم های تاسیساتی ، آب رسانی ، هیدرولیکی و غیره به کارمی روند . پمپ ها باعث افزایش انرژی مایعات می گردند.

در پمپ چگالی سیال هم ثابت و هم مقدار آن زیاد است .اختلاف فشار معمولا قابل ملاحظه است و ساختمان پمپ بایستی محکم باشد. هنگامی که وجود یک پمپ به تنهایی نتواند دبی یا ارتفاع مورد نیاز ایستگاه را تامین کند از دو یا تعداد بیشتری پمپ در مدار استفاده می شود اتصال پمپ ها به یکدیگر و یا نحوه قرار گیری آنها در مدار ، بطور کلی در دو حالت موازی یا سری صورت می گیرد .

به هم پیوستن پمپها به صورت موازی :

در این حالت ، دبی کلی ایستگاه از طریق چند پمپ که بصورت موازی به یکدیگر بسته شده اند عبور خواهد کرد نحوه عملکرد این پمپها شبیه مدارهای الکتریکی در حالت موازی می باشد. شکل (1)؛ به این صورت که دبی کلی ایستگاه از جمع دبی های عبوری از هر پمپ بدست می آید و ارتفاع تولیدی تمامی آنها نیز با یکدیگر مساوی است. به هم پیوستن پمپ ها به صورت موازی بر نقطه کار هر یک از پمپ ها اثر می گذارد .

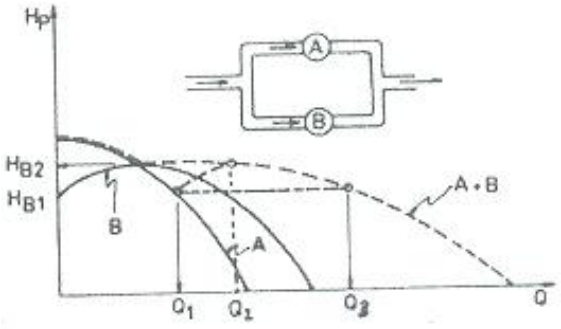
برای بدست آوردن منحنی مشخصه مجموعه ، باید دبی های هر یک را در ازاء ارتفاع ثابت با یکدیگر جمع و نقاط حاصل را به هم متصل نمود .

محل تلاقی مدار با منحنی بدست آمده نقطه کار سیستم را تعیین می کند (H_p, Q). برای مشخص کردن نقطه کار هریک از پمپ ها ، باید از محل دو منحنی ، خطی موازی با محور Q ها رسم

شود شکل (1) نقطه کار پمپ ها را نشان می دهد (Q1 , Q2). پمپ ها معمولاً به نحوی انتخاب می شوند که در حوالی نقطه راندمان ماکزیمم خود کار کنند .

ارتفاع کل رامی توان از رابطه زیر بدست آورد :

$$H_{total} = \left[\frac{(P_{d2} - P_{s1})}{\rho g} + \frac{(P_{d1} - P_{s1})}{\rho g} \right] / 2 \qquad (1\text{-}6)$$



شکل (1)منحنی عملکرد دو پمپ به صورت موازی

P_s, P_d به ترتیب فشار استاتیکی در دهانه های خروجی و ورودی پمپ ها می باشند .

هنگامیکه پمپ های (1) و (2) ، هر یک به تنهایی درمدار قرار گیرند دبی تولیدی توسط آنها به ترتیب Q_2, Q_1 خواهد بود .

موازی بستن دو یا تعداد بیشتری پمپ در یک مدار ، هنگامی صورت می گیرد که :

در ازاء دبی مورد احتیاج ، اندازه پمپ انتخابی بزرگ شود که در این صورت با تقسیم دبی بین دو یا چند پمپ می توان در یک ارتفاع ثابت ، پمپ هایی با اندازه کوچکتر انتخاب نمود . با افزایش تعداد پمپ ها کارائی دستگاه بهتر می شود .

نکات قابل توجه در بستن پمپ ها بطور موازی :

1-استفاده از پمپ های یکسان برای بستن درصورت استفاده از پمپ های غیر یکسان باید از شیر یک طرفه در مسیر بعد از هر پمپ استفاده شود .

2-در به هم بستن پمپ های موازی باید سعی شود که مقاومت دینامیکی مدار حتی الامکان کم باشد زیرا همانگونه که از شکل (1) مشاهده می شود هرچه شیب منحنی مشخصه مدار بیشتر باشد دبی تولیدی مجموعه پمپ ها کاهش یافته و در این صورت موازی بستن پمپ ها تاثیر چندانی نخواهد داشت .

3-همانطور که گفته شد ، دبی تولید هر یک از پمپ ها در حالت موازی ، کمتر از دبی تولیدی پمپ ها درحالتی است که به تنهایی در مدار قرار گیرند . بنابراین وقتی یکی از پمپ ها از کار بیفتد از مدار خارج شود دبی تولیدی پمپ ها افزایش پیدا می کند .

به هم پیوستن پمپ ها به صورت سری :

به هم پیوستن پمپ ها به صورت سری در یک مدار برای بالا بردن فشار تولیدی در ازاء یک دبی معین صورت می گیرد دراین حالت ، دبی کلی ایستگاه از پمپ های متعدد که بصورت سری قرار گرفته اند گذشته و فشار آن د رهر مرحله افزایش می یابد در این جا نحوه عملکرد پمپ ها همانند مدارهای الکتریکی در حالت سری است برای ترسیم منحنی مشخصه مجموعه پمپ ها در حالت سری ، باید به ازاء یک دبی معین ارتفاعهای متناظر را با یکدیگر جمع و نقاط بدست آمده را به هم متصل نمود یک نمونه از منحنی مشخصه پمپ ها در حالت سری در شکل (2) آمده است محل تلاقی منحنی مشخصه مدار با منحنی بدست آمده ، نقطه کار پمپ را تعیین می کند .

در به هم پیوستن پمپ ها بصورت سری باید به نکات زیر توجه کرد :

1-به علت آنکه سیال به هنگام ورود به دومین پمپ سری ، دارای فشار بیشتری است فشار در پوسته و محفظه آب بندی این پمپ بیشتر می باشد از این رو پمپ نیاز به آب بندی مناسب تری دارد و همچنین فشار داخل آن نباید از فشار آزمایش پوسته پمپ بالاتر رود .

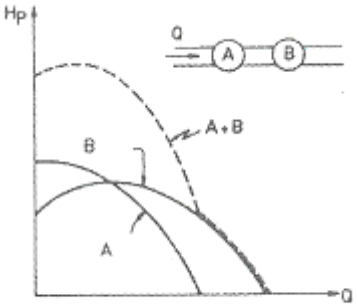
2-در حالتی که دو پمپ یکسان با یکدیگر به صورت سری بسته شوند ارتفاع کل دو برابر هر یک از پمپ ها خواهد بود اما دراین مورد نیاز ارتفاع تولیدی مجموعه دو پمپ ، کمتر از دو برابر ارتفاع تولید یک پمپ ، در حالتی است که به تنهایي در مدار قرار گیرد .

3-بهتر است د رسری بستن از پمپ های یکسان استفاده شود .

در حالت سری ارتفاع کل را می توان از رابطه زیر بدست آورد .

$$H_{total} = \left[\frac{(P_{d2} - P_{s2})}{\rho g} + \frac{(P_{d1} - P_{s1})}{\rho g} \right] \qquad (2\text{-}6)$$

$$H_{total} = (P_{d2} - P_{s1}) / \rho g$$



شکل (2) منحنی عملکرد دو پمپ به صورت سری

برای هر پمپ داریم:

$P_{\text{مفید}} = QH\rho g$ (3-6)

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

$P = VI$ (4-6)

پس راندمان بصورت :

$\eta = P_{\text{مفید}} / P_{\text{مصرفی}} = \rho g\ QH / VI$ (5-6)

راندمان درحالت موازی برابر است با $\eta = \dfrac{Q}{\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2}}$ و راندمان درحالت سری برابر است با $\eta = \dfrac{H}{\frac{H_1}{\eta_1} + \frac{H_2}{\eta_2}}$

شرح دستگاه :

دستگاه مورد آزمایش از یک میز هیدرولیک تشکیل یافته است که بر روی آن دو پمپ متصل گشته اند . مدار لوله کشی پمپ ها به قسمی است که می توان توسط بستن شیرهای مربوطه هر دو پمپ را بصورت جداگانه سری و موازی راه اندازی نمود .

بر روی پانل دستگاه به ازاء هر پمپ یک دیمر الکتریکی برای تغییر دور پمپ یک ولتمتر و یک آمپر برای قرائت توان الکتریکی داده شده به پمپ وجود دارد .

این دستگاه آزمایش ، برای کنترل جریان از چهارشیر استفاده می کند .

شیر (4) دررانش پمپ (1) متصل شده و این قسمت را به عکس پمپ (2) متصل می کند که تنها درراه اندازی سری پمپها باید باز باشد شیر (1) قسمت رانش پمپ (1) را به مدار خروجی متصل کرده و در هنگامی که پمپ (1) به تنهایی کار می کند و یا در راه اندازی سری پمپ ها باید باز باشد و شیر (3) در قسمت مکش پمپ (2) نصب شده است و این شیر را باید در زمانی باز نمود که بخواهیم پمپ (2) را به تنهایی و یا دو پمپ را بصورت موازی راه اندازی نمود .

روش کار :

ابتدا ورودی و خروجی سیستم را به میز هیدرولیک وصل کنید سپس دیمر ها را روی صفر (سمت چپ) تنظیم کنید محیط حرکت دیمرها را به سه قسمت مساوی تقسیم کنید اینک کلید ورودی دستگاه را در حالت ON قرار دهید .

الف : پمپ (1) را روشن کرده پمپ (2) را د روضعی خاموش قرار دهید شیر 2 را در

حالت باز شیر3 را درحالت بسته و شیر 1 را باز و شیر 4 را در حالت بسته قرار دهید ،

دراین حالت برای سه وضعیت دیمر پمپ (1) سه دبی و سه هد را قرائت کنید و منحنی مشخصه را رسم کنید. (می توانید همین آزمایش را برای پمپ (2) انجام دهید.)

ب : اینک پمپ های 1 و 2 را در حالت موازی قرار دهید بدین ترتیب که : شیر 2 باز و شیر 4 بسته و شیر 3 باز و شیر 1 باز باشد در این حالت هر دو پمپ را روشن کنید و برای سه وضعیت دیمرها دبی و هد را قرائت کنید و منحنی مشخصه را رسم کنید (سعی کنید که دیمرها را به یک اندازه بچرخانید تا آزمایشها کمترین خطا را داشته باشند). در این حالت بعد از رسم منحنی مشخصه آنرا با منحنی های مشخصه پمپ ها 1 و2 مقایسه کنید و نتایج را با تئوری آزمایش تطبیق دهید .

ج : اینک پمپ های 1 و2 را د رحالت سری قرار رهید بدین ترتیب که :

شیر4 بسته و شیر 2باز و شیر 3 بسته باشد در این حالت نیز دیمرها را همز مان در سه وضعیت قرار دهید نتایج را یادداشت کنید.

خواسته ها و محاسبات :

۱. منحنی مشخصه پمپ را در حالت ها ی مختلف رسم نمایید.
۲. منحنی مشخصه پمپ ها را در حالت های مختلف با هم مقایسه کنید.آیا منحنی های بدست آمده مطابق با منحنی های معمولی این پمپ ها است ؟
۳. راندمان پمپ را در حالت های مختلف بدست آورید و با یکدیگر مقایسه کنید.
۴. جهت انتخاب پمپ ها به چه مشخصاتی باید توجه نمود؟

آزمایش هفتم : رینولدز

هدف :

هدف از انجام این آزمایش بررسی نوع حرکت سیال و تعیین محدوده هر یک از نواحی حرکت سیال است.

تئوری :

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

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

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

دستگاه طوری ساخته شده است که توسط آن می توان جریان مایع را دریک لوله بطورکامل مشاهده کرد و محاسبات لازم نوع جریان را تعیین نمود .

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

$$\mathrm{Re} = \frac{F_\rho}{F_\mu} = \frac{\rho V^2}{\mu \frac{V}{L}} = \frac{\rho V L}{\mu} \qquad (1\text{-}7)$$

ρ : دانسیته سیال

μ : ویسکوزیته

V: سرعت متوسط سیال

L: طول مشخصه

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

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

$$R_e = \frac{\rho . V . D}{\mu} \qquad (2\text{-}7)$$

μ : $\frac{kg}{m.s}$ ویسکوزیته دینامیکی

$\rho : \frac{kg}{m^3}$

$$R_e = \frac{V.D}{\upsilon} \qquad (3\text{-}7)$$

υ : $m^2.\sec^{-1}$ ویسکوزیته سینماتیکی

D: (m)

V: $\left(m/s\right)$

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

داخل لوله: Re< 2100

جریان بین دو صفحه جریان در کانال Re < 1000

باز: Re < 500

شرح دستگاه :

دستگاه مطابق شکل از بخش های زیر تشکیل شده است :

1- مخزن مایع رنگی

2- سوزن انتقال مایع رنگی

3- گلوله های آرام کننده جریان

4- قیف ورودی مایع

5- مخزن اصلی مایع

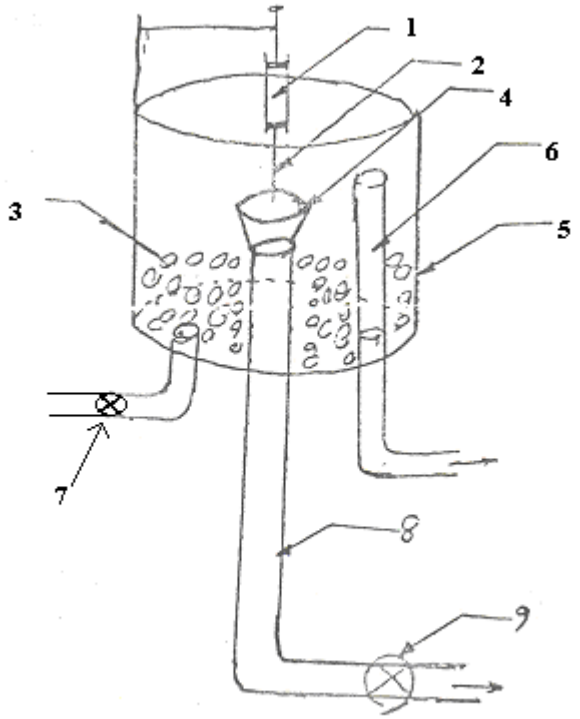
6- سر ریز

7- شیر کنترل دبی

دستگاه آزمایش از یک مخزن استوانه ای شیشه ای تشکیل شده است. آب از طریق لوله ای که به پایین مخزن متصل است وارد آن می شود و پس از ورود به بستری از گلوله برخورد کرده، سرعت آن یک نواخت می شود. یک لوله سرریز، سطح آب استوانه ای را ثابت نگاه می دارد. لوله خروجی در مرکز مخزن و زیر آن قرار دارد و با کاهش تدریجی مقطع در ورودی، امکان عبور سیال، هرچه آرام تر میسر می شود. لوله ای که به مخزن کوچک جوهر متصل است از بالا وارد مخزن می شود. با تنظیم شیر کنترل دبی می توان در انتهای لوله خروجی سرعت سیال را تغییر داد و رفتار ماده جوهر را همراه با جریان سیال در سرعت های مختلف بررسی کرد.

توسط این دستگاه می توان مایع رنگی (1) راتوسط یک سوزن (2) در یک لوله شیشه ای (8) هدایت کرد و به وسیله شیر (9) میزان دبی را تغییر داد .

گلوله های آرام کننده جهت جلوگیری از اغتشاش آب ورودی به مخزن می باشند و قیف نیز آرام کننده جریان ورودی به شیشه است .



شکل 1

روش انجام آزمایش :

1- آب ورودی به سیستم را باز نمائید تا برگشت از سرریز آغاز گردد (دقت کنید که شیر پایین دستگاه بسته باشد).

2- شیر پایین دستگاه را کمی باز کنید.

3- از وجود رنگ دانه (جوهر) در مخزن آن مطمئن شوید.

4- توسط تغییر دبی با شیر پایینی جریان جوهر را به صورت متمایز از آب در آورید. (به صورت ریسمانی در آب)

5- توسط بشر و کرنومتر دبی آب را اندازه گیری کنید.

6- در نقطه ای که جریان از حالت آرام به وضعیت انتقالی (Transition) می رسد و همچنین در نقطه ای که از حالت انتقالی به حالت آشفته می رسد، دبی جریان را به دست آورید.

7- اعمال فوق را این بار از حالت آشفته به انتقالی و آرام تکرار کنید و دبی جریان را به دست آورید.

8- یک قطره جوهر داخل ستون آب بیاندازید و به آرامی آن را پراکنده کنید. سپس شیر خروجی را به آرامی اندکی باز کنید و شکل توزیع سرعت (Velocity Distribution) را در مقطع لوله مشاهده کنید.

9- دمای آب مخزن را اندازه گیری کنید.

محاسبات :

دراین آزمایش قطر لوله آزمایش (میلی متر) D = 13(mm) می باشد .همچنین داریم :

$Q = V.A$ دبی حجمی جریان. A سطح مقطع لوله است.بنابراین هرگاه توسط یک کرنومتر و یک بشر دبی جریان راتعیین کنیم، خواهیم داشت:

$$Q = \frac{V(m^3)}{t(\sec)}$$

می توان توسط رابطه فوق سرعت جریان سیال (V) بر حسب $m/\sec$ را تعیین نمود .

درجدول خواص فیزیکی آب موجود درگزارش کارخود می توان مقادیر υ (ویسکوزیته سینماتیک) را در دماهای گوناگون آب یافت .

با جایگزینی V , D در رابطه (2) می توان مقدار R_e رامحاسبه نمود .

نتایج و محاسبات:

1-محاسبه عدد رینولدز درهر حالت وثبت مشاهدات

2-انجام آزمایش در دمای متفاوت (درصورت امکان)

3- رینولدز و رینولدز بحرانی را تعریف کنید و مقادیر رینولدز بحرانی را به دست آورید.

4- چرا رینولدز بحرانی در بخش چهارم و پنجم انجام آزمایش متفاوت است؟

5- معادله توزیع سرعت جریان آرام را در یک لوله از راه تئوری به دست آورید.

6- توزیع سرعت را در جریان آرام و درهم با هم مقایسه کنید.

7- درارتباط با خطاهای آزمایش بحث کنید .

آزمایش هشتم :جریان های گردابی

هدف آزمایش:

هدف از انجام این آزمایش بررسی تغییرات هد کلی در میان خطوط جریان برای جریان های چرخشي و ثابت بودن آن براي جريانهاي غير چرخشي مي باشد.

تئوری آزمایش:

اگر مایعی درون ظرفی قرار داشته باشد، سطح آن موازی سطح افق خواهد بود. حال اگر ظرف شروع به دوران کند، مایع نیز بر اثر وجود ویسکوزیته و تنش برشی شروع به دوران خواهد نمود. پس از سپری شدن یک فاصله زمانی، سیال مانند یک جسم صلب حرکت می کند. به این معنا که تمام ذرات سیال با سرعت زاویه ای یکسان (ω= سرعت زاویه ای ظرف) حرکت می کنند. در این حالت هیچگونه تنش برشی وجود نخواهد داشت و دوران سیال حول محور دوران " دوران اجباری " (Forced Vortex) نامیده می شود.

در " دوران آزاد " ظرف سیال هیچگونه حرکتی ندارد. در این حالت ظرف محتوی مایع در پایین سوراخ است و مایع از آنجا خارج می شود. مایع جهت خروج از سوراخ مذکور، حالت گرداب مانند تشکیل می دهد و دوران می کند.

باید به تفاوت اصلی دوران اجباری و دوران آزاد توجه داشت، چرا که در دوران آزاد سرعت ذرات مایع با فاصله اش از مرکز دوران نسبت عکس دارد.

اگر يك المان دلخواه حجمي در درون مايع اختيار كنيم (به ابعاد dr و dz و $d\theta$) و براساس مختصات استوانه اي در جهت r و z موازنه نيروها را بنويسيم، خواهيم داشت:

$$For\ \ r\ \ \ Direction: rd\theta.dz[p+[-(p+\frac{\delta p}{\delta r}dr)]]=-rd\theta.dr.dz.\rho r\omega^2 \qquad (1\text{-}8)$$

$$For\ \ z\ \ \ Direction: rd\theta.dr[p+[-(p+\frac{\delta p}{\delta z}dz)]]=-rd\theta.dr.dz.\rho g=0 \qquad (2\text{-}8)$$

$$\frac{\delta p}{\delta r}=\rho r\omega^2 \qquad \text{و} \qquad \frac{\partial P}{\partial z}=\rho g \qquad (3\text{-}8)$$

و پس از انتگرالگيري:

$$p=\frac{1}{2}\rho r^2\omega^{2+}\rho gz+c \qquad (4\text{-}8)$$

كه در آن c ثابت انتگرال گيري مي باشد. با جاگذاري شرط مرزي در r = 0 و z = 0، $p=p_0$، ثابت انتگرالگيري نيز تعيين مي شود و از آنجا رابطه تعيين كننده فشار هر نقطه از مايع به دست مي آيد:

$$p=p_0+\frac{1}{2}\rho r^2\omega^2+pg(z-h_0) \qquad (5\text{-}8)$$

براي به دست آوردن معادله سطح آزاد دوران كننده، در رابطه فوق p را برابر p_0 قرار مي دهيم و از آنجا:

$$z = h_0 + \frac{r^2\omega^2}{2g} \qquad (6\text{-}8)$$

اين رابطه نشان مي دهد كه مكان هندسي نقاط با فشار ثابت، يك سهمي دوار است كه شكل ان تنها بستگي به سرغت زاويه اي دارد.

مقدار برخاستن مايع به دليل دوران به روي استوانه (فاصله راس سهمي تا بالاترين نقطه اي كه مايع به ديواره مي چسبد) از معادله اخير به دست مي آيد:

$$h_2 = \frac{R^2\omega^2}{2g} \qquad (7\text{-}8)$$

از آنجائيكه سهميگون حاصل از دوران حجمي برابر نصف حجم استوانه محيطي دارد، حجم مايع بالاي صفحه افقي گذرنده از منتهي اليه تحتاني سهميگون برابر است با:

$$V = \pi R^2 \frac{1}{2}\frac{R^2\omega^2}{2g} \qquad (8\text{-}8)$$

زماني كه مايع بي حركت است، اين مايع باز هم با عمق يكنواخت $\frac{1}{2}\frac{R^2\omega^2}{2g}$ بالاي صفحه افقي فوق قرار دارد. بنابراين در طول ديواره ها مايع به همان اندازه كه در مركز پايين مي رود، بر مي خيزد.

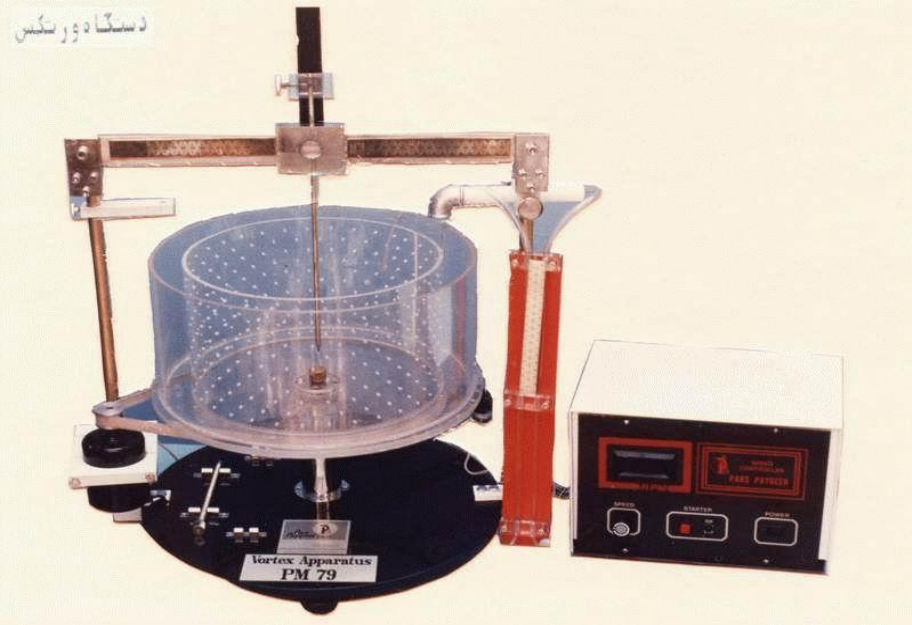
شرح دستگاه و روش آزمايش:

دستگاه مورد آزمايش از يك سطل استوانه اي شكل شفاف كه توسط يك موتور الكتريكي دور متغير حول محورش دوران می كند، تشكيل شده است. سوراخي در كف سطل وجود دارد كه توسط يك توپي بسته مي شود. مي توان مقداري آب تا ارتفاع معين داخل سطل ريخت و توسط موتور مجموعه را به گردش در آورد .

بعد از مدتي دوران با سرعت يكنواخت جرياني از نوع دوران اجباري بوجود مي آيد توسط يك دستگاه اندازه گير متحرك در طول قطر سطل مي توان نمودار سطح مايع و توسط يك لوله پيتوت متحرك مي توان تغييرات سيركلي جريان را تعيين نمود. شكل (1) نماي دستگاه مورد آزمايش را نشان ميدهد .

اگر يك جريان كاملاً پيوسته اي برقرار شود (توسط برداشتن توپي كف سطل جريان لازم براي دوران آزاد بدست آمده است براي مناسب بودن شرايط براي جريان دوران آزاد يك استوانه شفاف مشبك ديگري را در داخل سطل قرار مي دهيم ماداميكه آب در مسير حلزوني با سرعت كم بطرف سوراخ وسط در كف سطل حركت مي كند سرعت گردش آب اضافه مي شود.

توسط اندازه گير و لوله پيتوت مي توان نمودار سطح آزاد مايع و سيركلي جريان را تعيين نمود .



شكل (1) دستگاه جريان گردابي

براي شروع آزمايش به ترتيب زير عمل مي شود . توسط بستن سوراخ كف سطل با توپي و ريختن آب تا ارتفاع نيمه در داخل سطل موتور را روشن كرده و سعي مي كنيم تا دور مناسب (حدوداً 80 دور در دقيقه) برقرار شود .

اندازه گيري دور توسط كرونومتر و شمارش دور تعيين مي شود. توسط ميله مدرج (پراب) در مركز و حركت وضعي و انتقالي آن كه در طول قطر مي توان مختصات نقاطي از سطح آزاد مايع را تعيين نمود. براي دقت بيشتر سعي شود كه نقاط متقارن از سطح آزاد مايع را تعيين نمود براي دقت بيشتر سعي شود كه نقاط متقارن نسبت به محور شكل اندازه گيري شود .

تغييرات وضعي ميله مدرج در نواحي مركزي حدوداً 0.2 سانتيمتر و در نواحي دور از مركز حدوداً يك سانتيمتر مناسب مي باشد .

با جايگزين نمودن لوله پيتوت و تغيير وضعيت آن در طول قطر مي توان توزيع سيركلي را تعيين نمود دقت شود كه انتهاي لوله پيتوت كاملاً در آب غوطه ور باشد .

براي بوجود آوردن دوران آزاد توپي را از كف سطل برداشته و استوانه مشبك را در داخل سطل قرار مي دهيم توسط باز نمودن شير ميز آزمايشگاهي به مقدار كم (در تمام مرحله آزمايش) و قرار دادن دور موتور بمقدار مطلوب (حدوداً 30 دور در دقيقه) صبر مي كنيم تا شرايط دائمي جريان برقرار شود توسط شاخص كمكي نصب شده در بين دو استوانه سعي شود كه ارتفاع آب در طول آزمايش ثابت باقي بماند حال بكمك ميله مدرج و لوله پيتوت مي توان مطابق با روش پيش گفته شده تغييرات سطح آزاد و سيركلي را تعيين نمود براي هربار قرار دادن ميله مدرج در وضعيت قائم دو قرائت روي مقياس افقي انجام مي گيرد تغييرات فواصل قائم شاخص در حدود 0.2 سانتيمتر در نواحي نزديكي جداره استوانه و يك سانتيمتر در نواحي مركزي مناسب مي باشد.

نتايج و محاسبات :

1- ثابت كنيد درهر نقطه از داخل مايع رابطه زير برقرار است:

$$P_{absolute} = P_0 + \gamma(h_0 - z) + \gamma\frac{r^2\omega^2}{2g}$$

2- از روی فرمول فوق معادله سطح آزاد مایع را برحسب r بدست آورید.

3- استوانه ای مطابق شکل زیر پر از آب است. درصورتی که استوانه با سرعت زاویه ای ω حول محورش بچرخد، نیروی وارد بر لبه بالایی استوانه را توسط منحنی قسمت 3 و 6 بدست آورید.

ب : دوران آزاد : نتایج حاصل از قرائت شاخص میله مدرج و پیتوت را براي دوران آزاد را یادداشت نمائید براي تعیین z در جدول (3) ابتدا $Z_{مبنا}$ را از رابطه $U^2/2g$ + قرائت مقیاس قائم در جداره = $Z_{مبنا}$

حساب نموده و سپس Z را از رابطه $Z_{مبنا}$ - قرائت مقیاس قائم = Z تعیین کنید .

همچنین مقدار سرعت در جداره از رابطه $u_C = r_C * \Omega$ تعیین مي شود که r_C همان شعاع استوانه داخلي (r = 30 cm) و سرعت زاویه اي متوسط $\Omega = \frac{2\pi N}{60}$ مي باشد . مشاهده مي شود که بر خلاف آنچه در بخش تئوري گفته شد هد کلي مقدار ثابتي نمي باشد این اختلاف توسط روابط قابل توجیه است به کمك رسم نمودار log (-z) برحسب Log r مي توان مقادیر عددي n و c را بدست آورد با قرار دادن مقادیر c,n در روابط مي توان تغییرات Z و H را برحسب r رسم نمود .

تغییرات تئوري هد کلي (H) را برحسب (r) بکمك رابطه $H = \frac{\Omega^2 r^2}{g}$ براي دوران اجباري رسم نموده و علل اختلاف آنرا با نتایج تجربي مقایسه کنید .

در رسم نمودارها بحث کنید توسط آزمایش دوران اجباري مقدار شتاب ثقل را بدست آورید در مبحث تئوري از مؤلفه هاي شعاعي و محوري سرعت صرفنظر شده است و همچنین فرض شده است که مؤلفه مماسي سرعت فقط با شعاع تعیین مي شود آیا این فرضیات قابل قبول است ؟

آزمايش نـهم :تونل باد

هدف آزمايش :

هدف از اين آزمايش آشنايي با تونل باد و عملكرد آن و اندازه گيري و محاسبه ضريب دراگ (C_D) براي اجسام مختلف، مقايسه آنها و رسم منحنی تغييرات C_D برحسب عدد رينولدز مي باشد.

تئوري آزمايش :

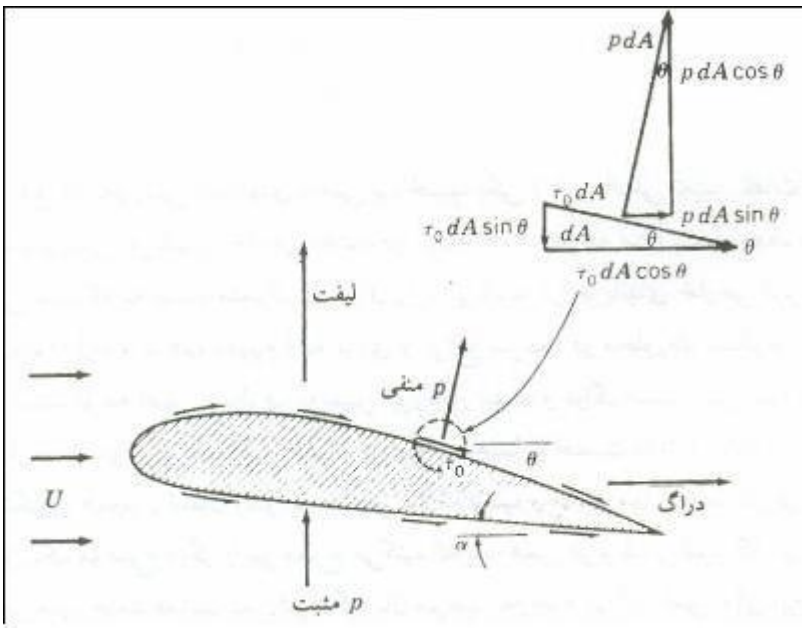
حل مسائل جريان حقيقي معمولاً شامل تركيبي از اطلاعات تحليلي و آزمايشي است. ابتدا حالت جريان فيزيكي حقيقي با مدل رياضي كه حل آن ساده است تخمين زده مي شود . سپس براي بررسي نتايج تحليلي اندازه گيريها ئی آزمايشي انجام مي گيرد و از روي آن تحليل اصلاح مي شود. تحليل ابعادي روش مهمي است كه اغلب در دستيابي به اين هدف به ما كمك مي كند.

با استفاده از پارامترهاي بي بعدي كه بدست آورده مي شود از حجم آزمايشهاي لازم براي انجام مطالعه تجربي به مقدار زيادي كاسته مي شود و نتايج بدست آمده از آزمايش براي تمامي جريانهايي كه با جريان مورد آزمايش داراي تشابه ديناميكي هستند معتبر خواهد بود. برخي از وسايلي كه مي توانند اين شرايط را بوجودآورند عبارتنداز كانال آب، تونل باد و ... .

براي توصيف عملكرد تونل باد جسمي را در نظر بگيريد كه در معرض جريان سيال قرار دارد.

سيال نيرويی به جسم وارد مي كند طبق تعريف مؤلفه راستای حركت اين نيرو دراگ(Drag) و مؤلفه عمود بر آن ليفت(Lift) گفته مي شود. در اينجا منظور از سرعت سيال، سرعت نسبي آن در هنگام نزديك شدن به جسم است.

بر روي سطح جسم هم تنش فشاري اثر مي كند و هم تنش برشي كه هر دو در ايجاد نيروهاي ليفت و دراگ سهيمند. شكل (1) اين نيرو ها را نشان مي دهد.



شكل (1) نيروهاي فشاري و برشی وارد به ايرفويل

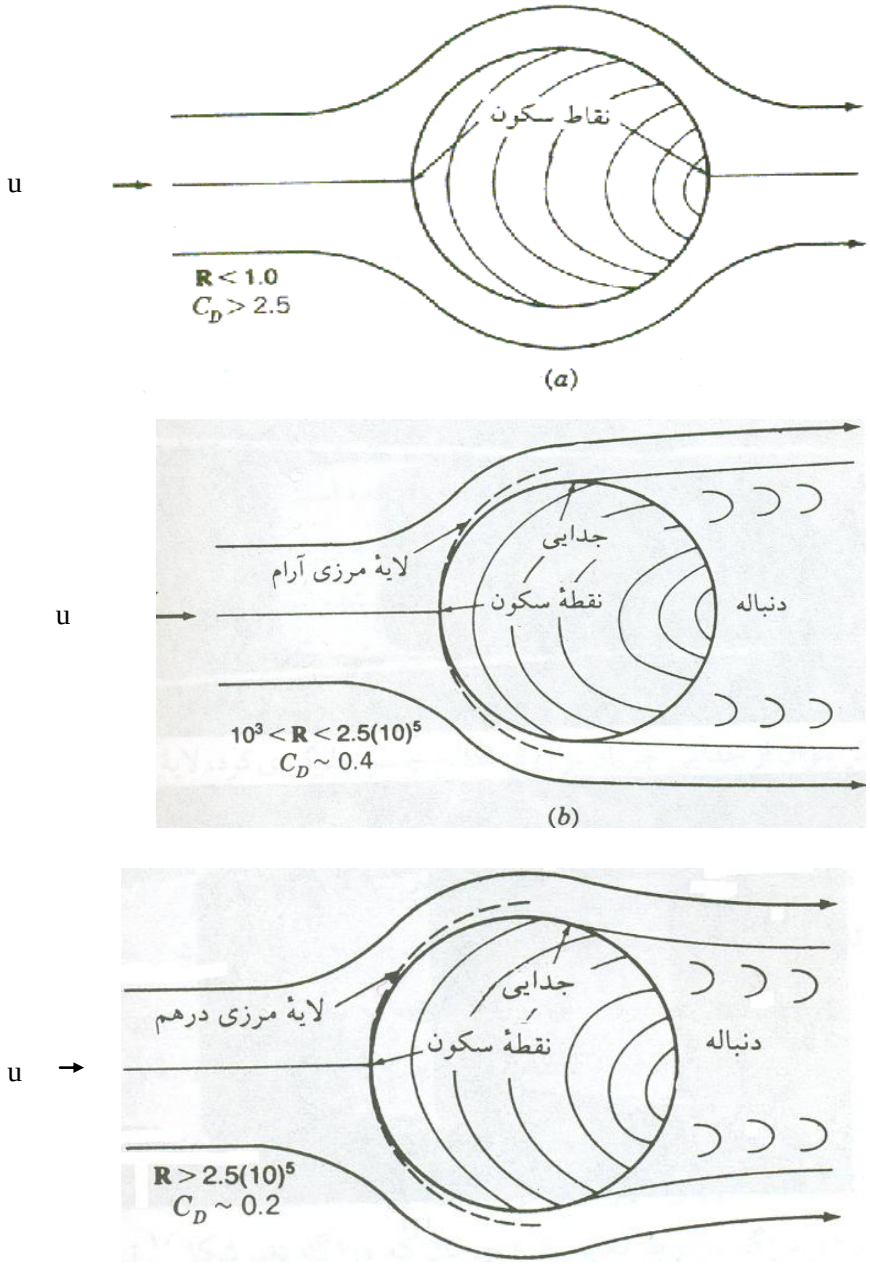
ليفت و و دراگ بر اثر كنش ديناميكي سيال متحرك ايجاد مي شوند و نيروهايي مانند وزن و شناوري در آنها دخالتي ندارند.

نيروي دراگ را مي توان به صورت حاصلضرب ضريب دراگ (C_D) و فشار ديناميك، $\frac{\rho u^2}{2}$ بيان كرد.

$$D = C_D \frac{\rho u^2}{2} A \qquad (1\text{-}9)$$

A تصوير سطح جسم روي صفحه اي عمود بر جريان سيال است.

براي روشن شدن موضوع جريان در پيرامون كره در اعداد رينولدز بسيار كوچك يعني $\frac{\rho u D}{\mu} < 1$ و براي اعداد رينولدز بزرگ و مقادير ضريب دراگ، در شكل (2) نشان داده شده است.

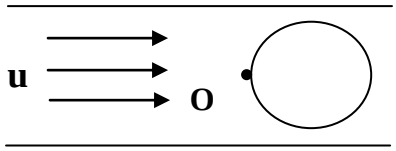


شكل (2) جريا ن در پيرامون كره

همانطور كه در شكل نشان داده شده است نقطه سكون جايي است كه سرعت سيال در يك لحظه صفر شده و نقطه جدايي وقتي اتفاق مي افتد كه خط جريان از مرز جدا مي شود.

براي بدست آوردن ضريب دراگ C_D بايستی سرعت سيال در هنگام نزديك شدن به جسم مشخص باشد كه می توان آن را با استفاده از رابطه برنولي بدست آورد.

$$\frac{u^2}{2g}+\frac{P_S}{\gamma}+y=\frac{V_O{}^2}{2g}+\frac{P_O}{\gamma}+y_O \qquad (2\text{-}9)$$



در نقطه O سيال براي يك لحظه به حالت سكون در مي آيد. P_S فشار استاتيكي و P_0 فشار سكون سيال مي باشد.

$$U=\left[2g\left(\frac{P_0-P_S}{\gamma}\right)\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (3\text{-}9)$$

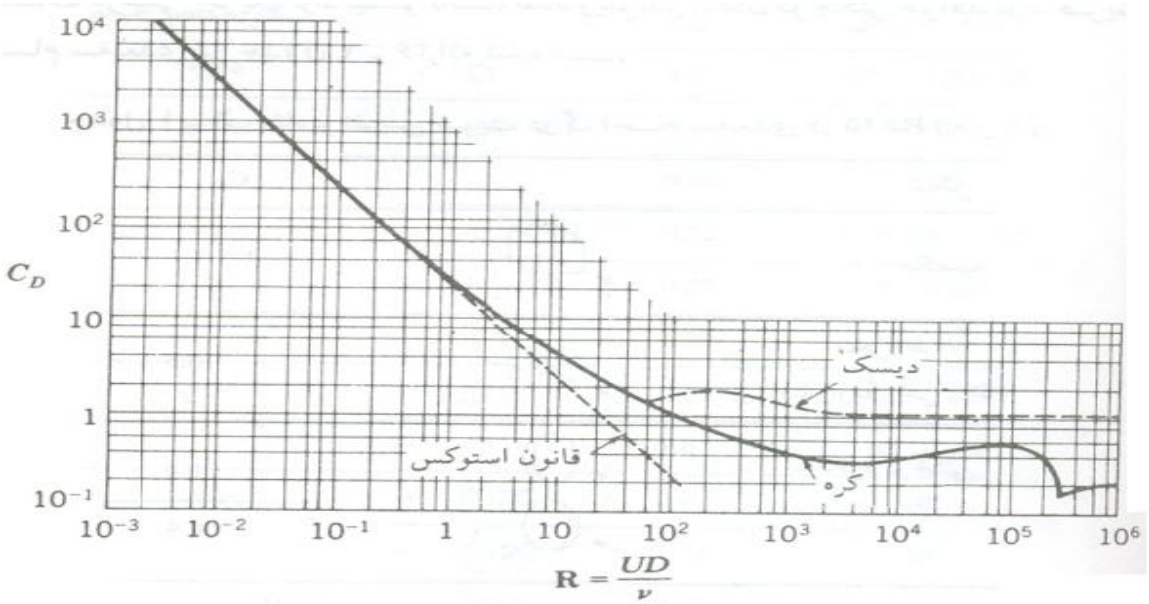
اگر رابطه فوق را بر حسب ارتفاع فشار Δh بيان كنيم خواهيم داشت :

$$u=\sqrt{2g\,\Delta h_{air}} \qquad (4\text{-}9)$$

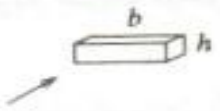
Δh اختلاف ارتفاعي كه از لوله پيتوت خوانده مي شود. اين Δh برحسب ميلی متر الكل می باشد و بايد به ميلی متر هوا تبديل شود:

$$\Delta h_{air}=\frac{\Delta h_1\times\gamma_1}{\gamma_{air}}$$

در شكل (3) نمودار ضريب دراگ كره و ديسك بر حسب عدد رينولدز آورده شده است. براي ساير اجسام سه بعدي نيز مقادير اين ضريب در شكل (4) ارائه شده است.



شكل (3) نمودار ضريب دراگ كره و ديسك

شکل		C_D	
مکعب		1.1	
مخروط (با زاویهٔ رأس 60°)		0.5	
نیمکرهٔ توخالی		1.4	
		0.4	
صفحهٔ مستطیلی		b/h 1 5 10 20 ∞	 1.18 1.2 1.3 1.5 2.0
استوانه (جریان در امتداد محور استوانه)		l/D 0.5 1 2 4 8	 1.15 0.90 0.85 0.87 0.99

شکل (4) مقادیر تقریبي ضریب دراگ اجسام سه بعدي در R>10

شرح دستگاه و روش آزمایش :

همانطور که در شکل دستگاه دیده می شود تونل باد از بخش های همگرا، واگرا (نازل)، مقطع آزمایش و فن مکنده تشکیل شده است.

در انتهاي نازل شبکه لانه زنبوري براي آرام کردن و جلوگيري از ايجاد اغتشاش هواي ورودي به کار مي رود.در کل ساختار تونل باد به گونه اي است که در حد امکان جريان يکنواختي در مقطع آزمايش ايجاد مي شود.

در مقطع آزمايش لوله پيتوت براي اندازه گيري اختلاف فشار سکون و استاتيکي (P_0-P_S) قرار داده شده است که طبق رابطه (3-9) مي توان سرعت سيال را محاسبه کرد. يك نيروسنج (Load Cell) نيز براي اندازه گيری نيروي دراگ قرار داده شده است.

قبل از شروع آزمايش مي بايست دستگاه را تنظيم نمود. سپس آزمايش را در سه مرحله انجام داد. در مرحله اول نمونه کروي در مقطع آزمایش قرار میگیرد و در دبی های مختلف از هوا نیروی دراگ اندازه گیری می شود.

در مراحل دوم و سوم نمونه دوکی شکل و دیسک در سر راه هوا قرار داده شده و آزمایش تکرار می شود.

نتایج و محاسبات :

نتایج حاصل از مراحل سه گانه را در جدولی مطابق با جدول (1) درج نمائید. سپس با محاسبات جداول فوق ضریب دراگ C_D را بدست آورید. براي بدست آوردن ویسکوزیته سیال(μ مي توان با داشتن دماي محیط آن را از نمودار (1) آنرا بدست آورد. دقت کنید براي بدست آوردن عدد رینولدز براي نمونه دوکی شکل باید قطر هیدرولیکي رادر فرمول عدد رینولدز قرار دهید. براي هرسه نمونه نمودار C_D برحسب عدد رینولدز را ترسیم نموده و آنرا با شکلهاي تئوري (3) و (4) مقایسه نمائید.

$$D_h = \frac{4A}{P} \qquad (5\text{-}9)$$

$$R_e = \frac{\rho u D_h}{\mu} \qquad (6\text{-}9)$$

1- برای پایه سیستم ترازو و تمام مدل ها مقادیرنیروی کشش اندازه گیری شده را برحسب سرعت هوا روی یک نمودار رسم کنید.

2- مقدار ضریب درگ (Drag Coefficient) هر جسم را برای سرعت های مختلف اندازه گیری شده، محاسبه کرده، منحنی آن را بر حسب عدد رینولدز برای هرکدام از مدل ها جداگانه روی کاغذ لگاریتمی رسم کنید.

3- منحنی های قسمت قبل را با منحنی های ارائه شده، مقایسه کرده، در مورد آن بحث کنید و علل خطا را ذکر کنید.

4- با توجه به نتایج آزمایش انجام شده یک نظر کلی درباره رابطه بین نیروی کشش و شکل جسم بیان کنید.

5- برای کم کردن نیروی Form Drag(مؤلفه افقی نیروی فشاری= $\rho Cos\alpha dA$)چه می توان کرد؟ (رجوع شود به Unit Operation,Mc Cabe, Fig 7.1, Page 151)

6- آیا پایه سیستم ترازو روی نتایج شما اثری دارد یا خیر؟ اگر دارد آن اثرات را بیان کنید.

7- اگر سرعت هوا در تونل خیلی زیاد بود، آیا باز فرضیه اینکه ضریب درگ فقط تابع عدد رینولدز است صحیح بود یا خیر و به چه عوامل دیگری می توانست بستگی داشته باشد و چرا؟ شرح دهید.

8- نقطه سکون (Stagnation Point) چیست و درجه حرارت و فشار در نقطه سکون چقدر است؟

9- آیا در مورد کره می توان از این آزمایش صحت قانون استوک (Stock's Law) را تحقیق کرد؟

10- طراحي مكانيكي يك تونل باد به چه پارامترهايي نياز دارد ؟

11- انواع تونل هاي باد را بیان نمائید.

آزمایش دهم :برخورد جت آب به اجسام

هدف آزمایش :

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

تئوری آزمایش:

یکی از مسائل مورد مطالعه در مکانیک سیالات، بررسی نیروی ناشی از برخورد سیال متحرک به موانع می باشد. از جمله موارد کاربرد پدیده مذکور استفاده از انرژی سیال تحت فشار برای تولید انرژی مکانیکی و الکتریکی است که به عنوان مثال می توان به کاربرد آن در توربین های آبی (سد ها) و توربین های بخار در نیروگاه های حرارتی اشاره کرد. یک نمونه دیگر آن برخورد جت آب به پره های چرخ پلتون است نیروی حاصل از تغییرات مقدار حرکت خطی (ممنتوم خطی) آب باعث بگردش در آمدن چرخ می شود.

وقتی که یک جت آب به مانعی برخورد کرده و امتداد سرعت آن تغییر می کند طبق رابطه ممنتوم خطی نیرویی بر مانع اعمال می شود. مانع متقارنی را مطابق شکل(1) در نظر بگیرید که جت آب با دبی جرمی Q_W بر حسب $\left(\frac{kg}{s}\right)$ و با سرعت u_0 بر حسب $\left(\frac{m}{s}\right)$ به آن برخورد کرده و به اندازه β تغییر جهت می دهد. (دبی جرمی از حاصلضرب دبی حجمی در جرم مخصوص سیال بدست می آید : $Q_W = \rho \times Q$)

با توجه به قوانین مکانیک سیالات می توان نوشت اندازه حرکت ورودی در جهت x برابر است با $\rho Q u_0$ بر حسب $\left(\frac{kgm}{s^2}\right)$

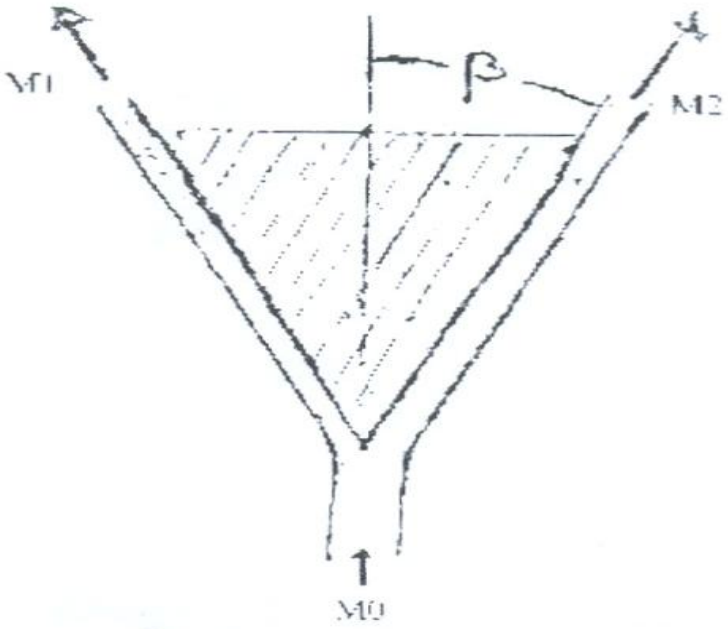
همچنین مقدار اندازه حرکت خروجی پس از مانع برابر است با $\rho Q u_1 \cos\beta$ بر حسب $\left(\frac{kgm}{s^2}\right)$. با توجه به قوانین بقای اندازه حرکت می توان نوشت:

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

یا به عبارت ریاضی :

$$F = \rho Q\left(u_0 - u_1 \cos\beta\right) \qquad \left(\frac{kgm}{s^2}\right) \quad or \quad (N) \qquad (1\text{-}10)$$

بنابر این با داشتن مقادیر و جهت های سرعت ورودی و خروجی می توان نیروی وارد بر جسم از طرف سیال را محاسبه کرد و رابطه (1-10) را برای حالت های خاص ساده نمود.



شکل(۱): دیاگرام برخورد جت آب به مانع

برخورد جت آب به مانع نیمکره ای:

در صورتی که سطح مانع در مقابل جریان آب مطابق شکل(2- الف) به شکل یک نیمکره توخالی (فنجانی شکل) باشد، زاویه خروج آب $\beta = 180^o$ بوده و داریم $\cos\beta = -1$ بنابر این نیروی وارده به مانع در این حالت برابر است با

$$F = \rho Q(u_0 + u_1)$$

در صورتی که از اختلاف ارتفاع و تغییرات فشار پیزومتریک صرف نظر کنیم، می توانیم فرض کنیم که $u_1 = u_0$ بنابر این نیروی وارده به مانع فنجانی معادل است با:

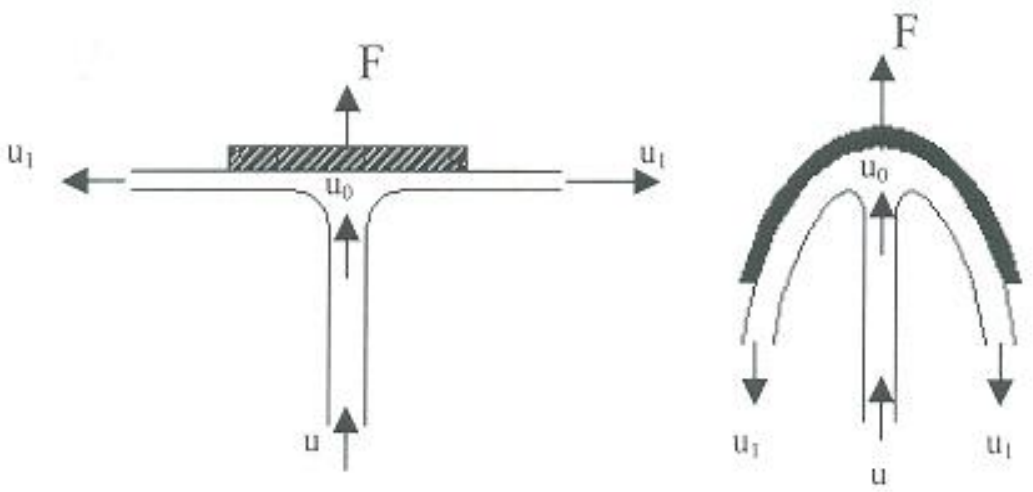
$$F_t = 2\rho Q u_0 \qquad (2\text{-}10)$$

برخورد جت آب به مانع مسطح:

در صورتی که سطح مانع در مقابل جریان آب مسطح و عمود بر محور x مطابق شکل(2- ب) باشد، داریم: $\beta = 90^o$ ، بنابر این $\cos\beta = 0$ ؛ لذا رابطه قبل به صورت زیر در می آید:

$$F_t = \rho Q u_0 \qquad (3\text{-}10)$$

در برخی از نقاط برای پخش آب و مستهلک کردن انرژی از مانع مسطح در مقابل جریان استفاده می شود که نیروی وارده به مانع مسطح با استفاده از رابطه فوق محاسبه می شود. قابل ذکر است که این نوع موانع برای دبی های زیاد به علت فرسایش بالا و ضریب بازدهی پایین ، کمتر استفاده می شوند.



2-الف 2- ب

شکل 2

شرح دستگاه و روش آزمایش :

وسیله مورد آزمایش در شکل (3) نشان داده شده است . مانع مسطح یا نیمکره ای در امتداد عمود بر مسیر جت در داخل ظرفی استوانه ای و شفاف قرار می گیرد جت آب بعد از برخورد با مانع تعادل آن را بر هم می زند .توسط جابجا کردن وزنه ای بر روی یک اهرم متصل به مانع می توان مجدداً مانع را درحالت اولیه متعادل نمود تعیین وضعیت تعادل توسط یک شاقول متصل به اهرم معلوم می شود.

با توجه به معادله لنگر ناشی از نیروهای وارده به اهرم بالای دستگاه می توان رابطه زیر را نوشت :

(فاصله وزنه تا موقعیت صفر)*(جرم وزنه)=(فاصله مرکز مانع از محور اهرم)*(نیروی وارد بر مانع)

$$F_e \cdot L_0 = W \cdot L_W \qquad (4\text{-}10)$$

درصورتی که سرعت خروج آب از شیپوره (Nozzle) u_0 باشد و فاصله شیپوره از مانع برابر Z باشد، سرعت برخورد آب با مانع مسطح یا فنجانی از رابطه زیر بدست می آید:

$$u^2 = u_0^2 - 2gZ \qquad (5\text{-}10)$$

تعدادی از مشخصات لازم دستگاه جهت محاسبات به قرار زیر است :

- قطر دهانه شیپوره d = 10 mm
- فاصله مرکز مانع تا نقطه اتکا اهرم (لولا) $L_0 = 175mm$
- فاصله مانع تخت تادهانه شیپوره Z = 28 mm و فاصله مانع کروی تا دهانه شیپوره Z =17.5mm

مراحل انجام این آزمایش به صورت زیر است:

1- مانع مورد نظر (مانع فنجانی یا مسطح) را با استفاده از آچار مناسب در داخل دستگاه نصب نمایید.

2- با استفاده از وزنه ای که بر روی اهرم سوار است دستگاه را تراز می کنیم به گونه ای که اهرم در حالت تعادل کاملا" افقی باشد (با تنظیم شیارهای حک شده روی شاهین)

3- دبی را به میزان حداکثر افزایش داده و آن را اندازه می گیریم.

4- بعد از تنظیم دستگاه و کامل باز نمودن شیر خروجی پمپ جت آب با حداکثر دبی خود با مانع برخورد می کند اهرم را از وضعیت تعادل اولیه خود خارج می کند.برای اینکه اهرم دوباره به حالت تعادل برسد وزنه روی اهرم را جابجا کرده و موقعیت شیار نشانگر وزنه را بر روی اهرم یادداشت می کنیم.

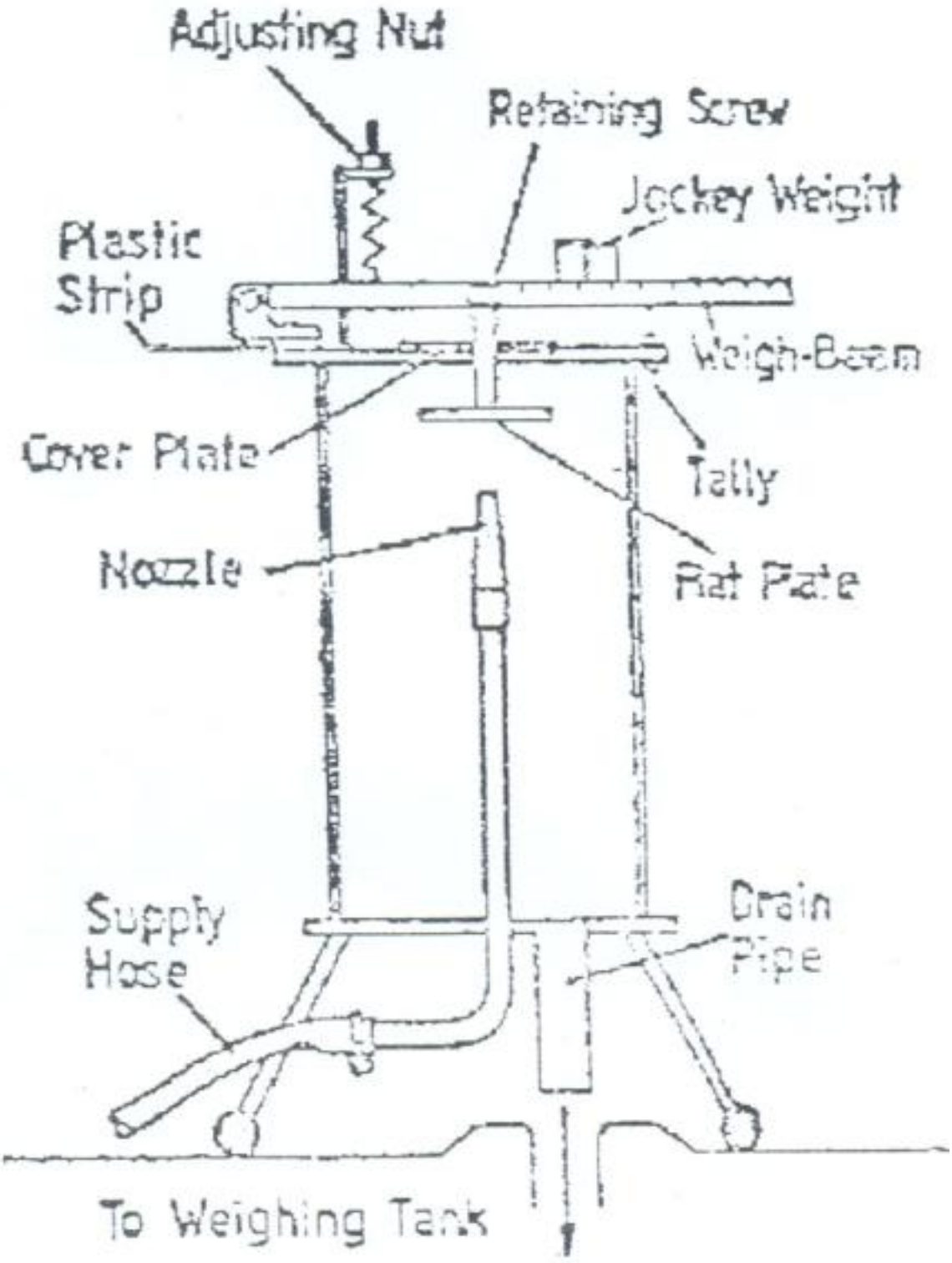
5- دبی را مقداری کاهش داده ، آن را اندازه می گیریم و گام چهارم را انجام می دهیم.

6- گام های 3و4و5 را برای مانع مسطح و فنجانی تکرار می کنیم به صورتی که برای هر مانع 10 بار اندازه گیری دبی Q و فاصله L_W شده باشد.

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

قبل از شروع آزمایش می بایست با قراردادن شیار وزنه متحرک روی فاصله صفر با مهره تنظیم بالای فنر اهرم را باشاقول تراز نموده سپس آزمایش را در دو مرحله یکبار با مانع مسطح و بار دیگر با مانع نیمکره ای انجام داد. تعیین وضعیت شاقول و شیار وزن متحرک در شکل(4)نشان داده شده است .

شکل 4- وزنه و شاقول در وضعیت تعادل

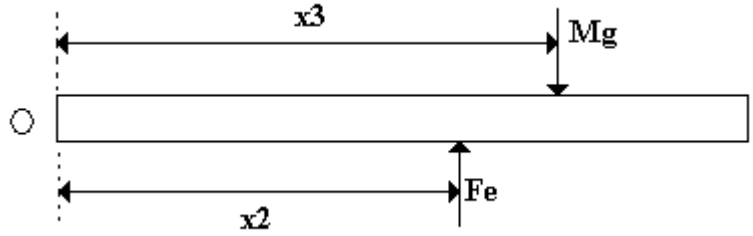


شکل(۳) شکل دستگاه آزمایش برخورد جت آب به اجسام

نتایج ومحاسبات :

1- نتایج حاصل ازدو مرحله آزمایش را که شامل تعیین دبی (مقدار جرم آب جمع شده و زمان آن) و تغییر مکان وزنه متحرک (Lw) است، در دو جدول جداگانه ،یکی برای مانع فنجانی و دیگری برای مانع مسطح یادداشت نمایید.

با داشتن دبی و سطح مقطع شیپوره سرعت خروج آب از شیپوره (u_o) را بدست آورید بکمک رابطه (10-5)، سرعت برخورد جت آب با مانع(u) را محاسبه کنید. با استفاده از روابط (10-2) و(10-3) نیروی تئوری(F_t) مؤثر بر هر مانع را حساب نمایید. با استفاده از جرم وزنه متحرک و فاصله آن از نقطه اتکاء اهرم (لولا) و فاصله مانع تا نقطه اتکاء اهرم، نیروی تجربی (F_e) مؤثر بر مانع را بدست آورید. برای محاسبه آن به شکل زیر دقت کنید:



رابطه گشتاور را حول o می نویسیم :

$$\sum M_0 = 0 \rightarrow F_e.x_2 = Mg.x_3$$

$$F_e = Mg.\frac{x_3}{x_2} \qquad (6\text{-}10)$$

x_3 : فاصله وزنه متحرک از o (لولا)

x_2 : فاصله مانع از o (لولا)

در رابطه (10-6) مقدارg 9.81 متر بر مجذور ثانیه است و Δx جابجايي وزنه متحرک بر حسب متر است .با توجه به واحد های فوق مقدار نيروي تجربی موثر بر حسب نیوتن بدست خواهد آمد.

2- منحنی تغییرات $F_e - F_t$ را برای هر یک از مانع ها رسم کنید (F_e محور افقی و F_t محور قائم). منحنی بهترین خط را برازش دهید و معادله آن را بنویسید.

3- با مقایسه نتایج اندازه گیری شده کنترل کنید که آیا نیروی مهار شده توسط مانع فنجانی دو برابر مانع مسطح است یا خیر. همچنین در صورتی که خط برازش داده شده به منحنی مانع مسطح از مبداء عبور نمی کند، علت را شرح دهید.

4- رابطه (10-6) را اثبات نمایید.

5- اگر سرعت خروج آب در نصف سطح مقطع مانع معادل 1.5u و در نصف دیگر معادل 0.5u باشد، چه تغییری در نتایج حاصل خواهد شد.

6- نقش نیروهای اصطکاکی را در هر مانع بررسی نمایید.

7- با توجه به محاسبات به عمل آمده کدام یک از مانع ها را برای استفاده در توربین ها پیشنهاد می کنید. علت را توضیح دهید.

آزمایش یازدهم :اندازه گیری دبی در لوله ها

هدف آزمایش :

آشنایی با روش های متداول اندازه گیری شدت جریان یا دبی در لوله ها

تئوري آزمايش :

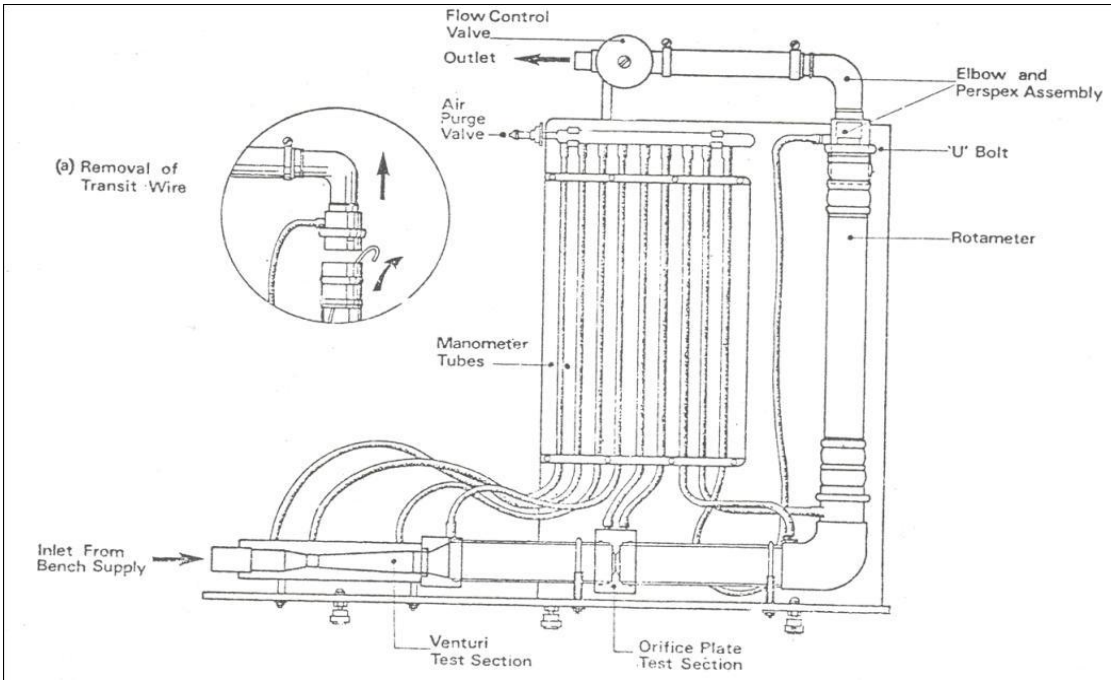
در دستگاه ها و سیستم های مختلف اعم ازباز و بسته که به نوعی با جریان سیال در ارتباط هستند، عموماً لازم است که میزان سیال عبوری از یک محل اندازه گیری شود. اندازه گیری میزان جریان آب، نفت و گاز در لوله ها یا کانال ها را می توان به عنوان نمونه های بارز برشمرد.

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:

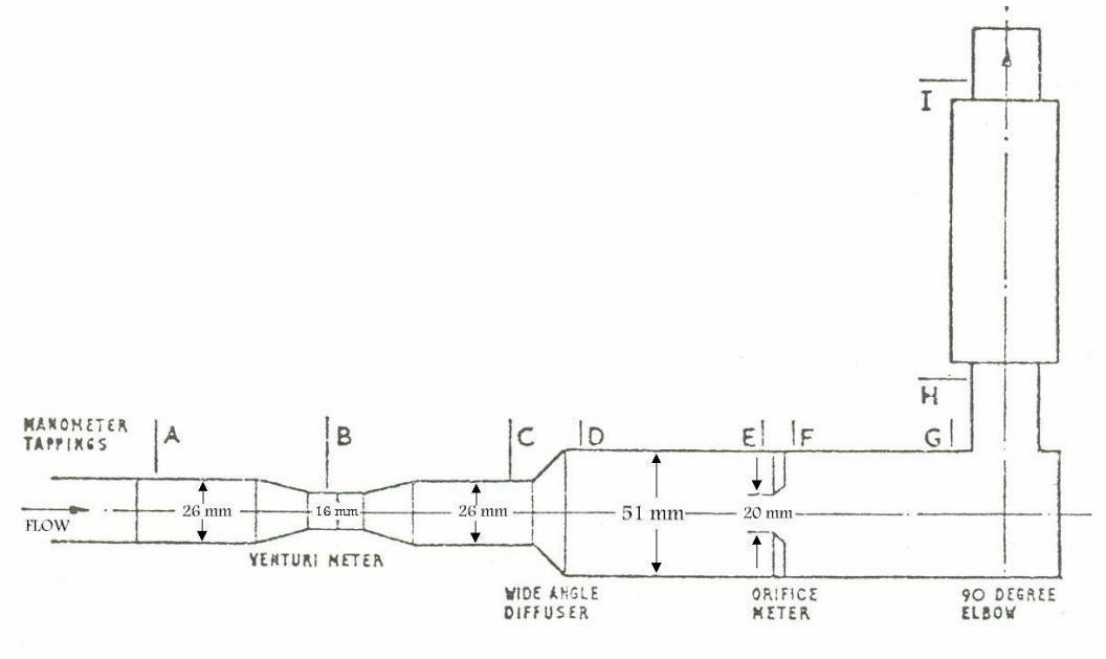
$$Q = \frac{w/\rho g}{t} \quad or \quad Q = \frac{V}{t} \qquad (1\text{-}11)$$

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(1) مشخصات وسیله آزمایشی به صورت شماتیک ارائه گردیده است.



شکل (1-a)



شکل (1-b)

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 (1) خواهیم داشت:

$$\frac{p_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1=\frac{p_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2 \qquad (2\text{-}11)$$

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

$$Q=A_1V_1=A_2V_2 \qquad (3\text{-}11)$$

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

$$Q=\left[\frac{2gA_2^2}{1-(A_2/A_1)^2}(Z_1+\frac{p_1}{\gamma}-Z_2-\frac{p_2}{\gamma})\right]^{\frac{1}{2}}=\left[\frac{2gA_2^2(h_1-h_2)}{1-(A_2/A_1)^2}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (4\text{-}11)$$

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.

تئوري مربوط به افت انرژي در هر قسمت و تعيين ضرايب 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. به منظور کاربردی نمودن رابطه (4) در عمل از ضریب تصحیح استفاده می شود که برای هر یک از دستگاه ها با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$K = \frac{Q_m}{Q_c} \qquad (5\text{-}11)$$

که در آن Q_c دبی محاسبه شده از رابطه (4-11) و Q_m دبی اندازه گیری شده واقعی می باشد. مقدار K عموماً تابع شکل و مشخصات دستگاه و میزان دبی و مشخصات سیال عبوری است.

به کمك رابطه برنولي مي توان مقدار افت انرژي در هر قسمت را محاسبه نمود. از طرف دیگر معمولاً افت انرژي را بصورت مضربي از انرژي جنبشي ورودي به آن قسمت به صورت رابطه (6-11) نشان میدهد.

$$\Delta H_{mn} = K\frac{V_m^{\ 2}}{2g} \qquad (6\text{-}11)$$

حال با تعیین افت انرژي و انرژي جنبشي ورودي مي توان ضریب افت (K) هر قسمت رابه کمك روابط زیر بدست آورد.

الف- ونتوري متر :

به کمك رابطه برنولي و با صرفنظر کردن از افت انرژي بین مقاطع ورودي و گلوگاه ونتوري میتوان رابطه (7-11) را جهت محاسبه دبي در ونتوري بکار برد.

$$Q = A_B V_B = A_B\sqrt{\frac{2g(h_A - h_B)}{1-(A_B/A_A)^2}} \qquad (7\text{-}11)$$

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 هاي پیزومتري مي باشد.

نظر به اینکه قطر ونتوري در مقاطع ورودي و خروجي آن برابر است، لذا افت انرژي آن از رابطه (8-11) بدست مي آید.

$$\Delta H_{AC} = h_A - h_C \qquad (8\text{-}11)$$

از طرف دیگر با توجه به رابطه پیوستگي بین مقاطع ورودي و گلوگاه ونتوري و رابطه برنولي و معلوم بودن نسبت سطوح دو مقطع که برابر با 0.38 است (قطر ورودي ونتوري 26 میلیمتر و قطر گلوگاه ونتوري 16 میلیمتر است) انرژي جنبشي ورودي محاسبه مي گردد.

$$\frac{V_A^{\ 2}}{2g} = 0.168(h_A - h_B) \qquad (9\text{-}11)$$

به کمك روابط (8-11) و (9-11) میتوان ضریب افت انرژي ونتوري را از رابطه (6-11) بدست آورد.

ب- دیفیوزر (انبساط مخروطي) :

به کمك معادله برنولي افت انرژي در انبساط مخروطي از رابطه (10-11) قابل محاسبه است.

$$\Delta H_{CD} = (h_C - h_D) + \frac{V_C^{\ 2}}{2g}(1-\frac{1}{16}) \qquad (10\text{-}11)$$

ضمناً بعلت مساوي بودن قطر ورودي و خروجی، انرژي جنبشي آنها هم یکسان است. پس به سهولت مي توان ضریب افت آن را از رابطه (6) بدست آورد.

$$K = \frac{\Delta H_{CD}}{V_C^{\ 2}/2g} \qquad (11\text{-}11)$$

ج- اوريفيس متر :

به علت شكل خاص اوريفيس متر كه بين مقاطع F و E نصب شده است افت انرژي جزئي نيست و نمي توان در بكاربردن رابطه برنولي از آن صرفنظر نمود. نظر به اينكه اختلاف ارتفاع پيزومترهاي E و F خود ناشي از افت انرژي بين اين مقاطع هم مي باشد. لذا مي توان به كمك رابطه برنولي نتيجه گرفت كه :

$$Q = A_F V_F = KA_F \sqrt{\frac{2g(h_E - h_F)}{1-(A_F / A_E)^2}} \qquad (12\text{-}11)$$

در آن K به نام ضريب تخليه دستگاه مي باشد و براي اوريفيس خاص نصب شده روي دستگاه مقدار آن برابر با 0.601 مي باشد.

با توجه به نسبت قطر ورودي اوريفيس متر به ونتوري متر كه تقريباً عدد 2 است مي توان دريافت كه انرژي جنبشي ورودي آن $\frac{1}{16}$ انرژي جنبشي ورودي به ونتوري متر است. ضمناً افت انرژي در اوريفيس متر از رابطه (11-13) محاسبه مي شود.

$$\Delta H_{EF} = h_E - h_F \qquad (13\text{-}11)$$

حال با تعيين اين مقادير ميتوان ضريب افت انرژي در اوريفيس متر را بدست آورد.

د – زانوئي 90 درجه :

به كمك رابطه برنولي بين نقاط Gو H (ورودي و خروجي زانوئي و همچنين رابطه تعادلي در لوله هاي پيزومتري- فشار در روي سطح مايع در لوله هاي G و H يكسان است)، مي توان افت انرژي در زانوئي با قطر تبديلي را از رابطه (14) بدست آورد.

$$\Delta H_{GH} = (h_G - h_H) + \frac{V_G^{\,2}}{2g}(1 - \frac{1}{16}) \qquad (14\text{-}11)$$

ضمناً انرژي جنبشي ورودي به زانوئي $\frac{1}{16}$ انرژي جنبشي ورودي به ونتوري است.

ه - 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 نیرو های 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 بصورت زیر نمایش داده می شود:

$$F_D = C_D A \frac{\rho V^2}{2} \qquad (15\text{-}11)$$

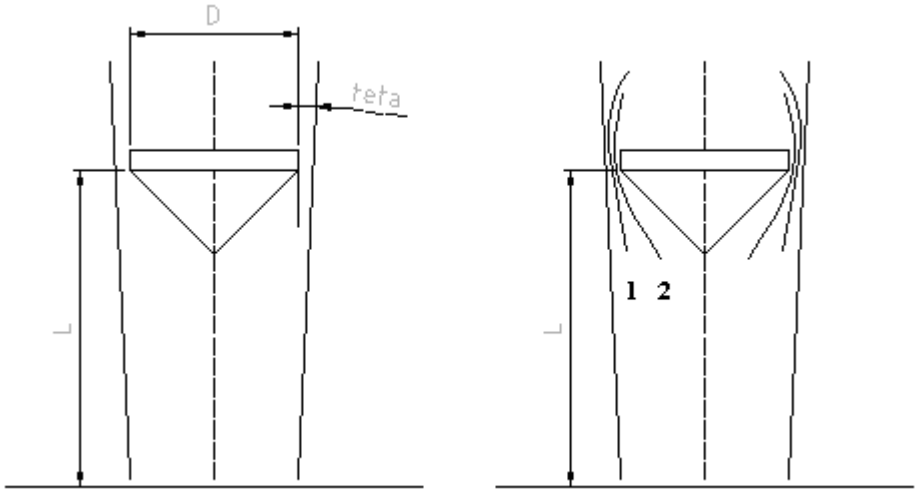
که در آن C_D ضریب کشش (Drag Coefficient)، ρ چگالی، A سطح مقطع وزنه در مقابل آب و V سرعت متوسط سیال است. نیروی وزن و نیروی شناوری مقداری ثابت و تابع جنس و شکل وزنه می باشد. پس از ساخت دوارسنج ها، آنها را

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 3 ارائه می گردد. طبیعتاً نمودار مربوط به هر دستگاه باید به صورت مستقل تهیه شود. شکل 3 مربوط به دستگاه این آزمایش می باشد.

با انتخاب حجم کنترلي مطابق شکل (2) که شامل مخروط شناور باشد وبا به کاربردن رابطه برنولي و تغییرات مقدار حرکت بین مقاطع 1 و 2 مي توان نتیجه گرفت که افت انرژي بین این دو مقطع مقداري است ثابت و به L (محل قرارگرفتن شناور) بستگي ندارد. از طرف دیگر چون این افت به سرعت سیال در اطراف شناور بستگي دارد پس مي 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 دبي سیال را از رابطه (11-16) که در آن θ بر حسب رادیان است بدست آورد.

$$Q = A_f.V = \pi D_f L\theta V \qquad (16\text{-}11)$$

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



شکل (2)

مشاهده مي شود که مقدار دبي در روتامتر به L به صورت خطي بستگي دارد.

افت انرژي در روتامتر از رابطه (11-17) قابل مقایسه است.

$$\Delta H_{HI} = h_H - h_I \qquad (17\text{-}11)$$

همانطور که قبلاً ذکر شد با يك نظر اجمالي در نتایج آزمایش مي توان دریافت که افت انرژي در روتامتر مستقل از دبي است و مقدار ثابتي مي باشد.

با توجه به قطر ورودي روتامتر مي توان دریافت که انرژي جنبشي ورودي آن برابر با انرژي جنبشي ورودي ونتوري متر است.

روش انجام 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 کاملاً 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.

برخی از ابعاد لازم جهت انجام محاسبات در شکل (1) درج شده است.

2- پس از آماده شدن، پمپ دستگاه را روشن کرده و شیر دو طرف را کاملاً باز نمایید و برای دبی حداکثر ارتفاع آب در پیزومترهای A تا I (شکل1) و ارتفاع مخروط دوارسنج(یعنی ارتفاع سطح بالای مخروط) را قرائت نموده، یادداشت کنید. ارتفاع آب در کلیه پیزومترها باید در محدوده مدرج شده واقع شوند. دبی جریان را به طریقه حجمی نیز اندازه بگیرید.(توسط میز آزمایشگاهی)

با یادداشت نمودن ارتفاع پیزومترها و مقیاس روتامتر و تعیین دبي توسط میز آزمایشگاهي مي توان ضرایب افت هر قسمت ونتوري، دیفیوزر، اوریفیس، زانوئي و روتامتر را تعیین نمود.

3- جهت تعیین تغییرات این ضرایب با دبي بهتر است با کم کردن دبي توسط شیر خروجي دستگاه، آزمایش را در ده مرحله انجام داده و جدول (1) را تکمیل نمایید.

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 1 و 2 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 کنید. 6- منحنی های زیر را ترسیم کنید:

- منحنی تغییرات Δh-Q_m و K-Q_m و بهترین خط برازش داده شده بر آنها، برای هر وسیله در یک صفحه
- منحنی تغییرات Δh-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_m - Q_c برای کلیه وسایل در یک صفحه

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

8- بعد از انجام آزمایش و تکمیل محاسبات جدول، تغییرات دبي جرمي بدست آمده توسط میز آزمایشگاهي را بر حسب دبي جرمي بدست آمده از ونتوري متر، اوريفيس متر و رتامتر تماماً در روي مقياس 1 رسم نمائيد نتيجه اي كه از اين نمودار بدست مي آوريد ذكر نمائيد. نصب هر سه وسيله دبي سنج را در تاسيسات هيدروليكي مقايسه كنيد.

9-مقدار ضریب سرریز را حساب کرده و منحنی تغییرات دبی و ضریب c را بر حسب ارتفاع پشت سرریز رسم نمایید.

خواسته ها و محاسبات :

1- با توجه به توضیحات رابطه (4)، چرا پیزومتر ارتفاع نظیر فشار را به صورت نسبی می دهد؟

2- مزایا و معایب هر یک از روش های اندازه گیری دبی که در این آزمایش با آن آشنا شدیم چیست؟ (به طور نسبی)

3- چرا هرچه دبی بیشتر می شود وزنه روتامتر بالاتر می رود؟

4- چرا افت فشار در روتامتر تقریباً ثابت است؟

آزمايش دوازدهم: كاويتاسيون

هدف آزمايش:

بررسي و مطالعه پديده كاويتاسيون در مجراي ونتوري و رسم منحني هاي افت فشار.

تئوري آزمايش:

چنانچه فشار استاتيك در نقطه اي از مجراي عبور يك سيال به حد فشار بخار سيال در درجه حرارت مايع برسد، در اين صورت قسمتي از سيال به بخار تبديل مي‌شود و همراه جريان حمل مي‌گردد. اگر حبابها به نقطه اي بالاتر برسند، حبابهاي گاز به سرعت از بين مي روند و دوباره تبديل به مايع مي‌شوند كه اين توليد و انهدام حبابها اثرات نامطلوبي در سيستمهاي هيدروليكي به جا مي‌گذارد.

با صرفنظر از افتها و با استفاده از رابطه برنولي در يك مجراي عبور سيال، مقدار هد كل برابر مجموع هد ارتفاع، هد فشار استاتيك و هد ديناميك بوده و عددي ثابت است. در صورتي كه روي خط جريان با عواملي مانند افزايش ارتفاع، افزايش سرعت سيال و ... هد ارتفاع يا هد ديناميك و يا هر دو افزايش يابند چون كل هد ثابت است بنابراين هد فشار استاتيك كاهش مي‌يابد و اين كاهش فشار تا حد فشار بخار، مجاز است. ولي كاهش بيشتر آن سبب بروز كاويتاسيون مي‌شود.

كاويتاسيون در تجهيزات هيدروليكي كه مسئله جدايي سيال در آنها مطرح است نيز ممكن است پديد آيد. در پديده كاويتاسيون توليد حبابهاي گاز مشكي ايجاد نمي كند بلكه انهدام حبابها است كه باعث ايجاد اثرات نامطلوب و خرابي در سيستم مي‌گردد، به طوري كه فشارهاي موضعي شديد ايجاد كرده و باعث خوردگي (erosion) و كنده شدن ذرات جداره (pitting) مي‌شود.

به طور كلي اثرات نامطلوب ناشي از بروز كاويتاسيون به شرح زير است:

۱. خوردگي و كندگي
۲. ايجاد ارتعاش در سيستم
۳. ايجاد سر و صدا
۴. كاهش راندمان حجمي و به تبع آن راندمان كلي سيستم

شكل و روش آزمايش:

دستگاه آزمايش به صورت شماتيك از يك ونتوري شفاف با مقطع مستطيل تشكيل يافته است كه به وسيله شير كنترل قبل از آن دبي جريان عبوري از آن قابل تنظيم است.

جهت انجام آزمايش پمپ را روشن مي كنيم و سپس در دبي هاي مختلف قبل و بعد از كاويتاسيون مقدار افت فشار در دو سر ونتوري و فشار مطلق گلوگاه را اندازه مي گيريم و در نهايت درجه حرارت اب را اندازه مي گيريم، مساحت سطح مقطع ورودي و خروجي و سطح مقطع گلوگاه را نيز بايد مشخص نماييم..

$A_1 = 40 * 5 \quad (mm^2)$ سطح مقطع ورودي

$A_2 = 2.6 * 5 \quad (mm^2)$ سطح مقطع گلوگاه

نتايج آزمايش:

۱. جدول را كامل كرده و منحني هاي افت فشار دو سر ونتوري و فشار مطلق گلوگاه ونتوري را بر حسب دبي رسم كنيم.

۲. با استفاده از جدول، فشار كاويتاسيون را تعيين كنيد و با فشار اندازه‌گيري شده مقايسه كرده و علل اختلاف آنها را شرح دهيد.

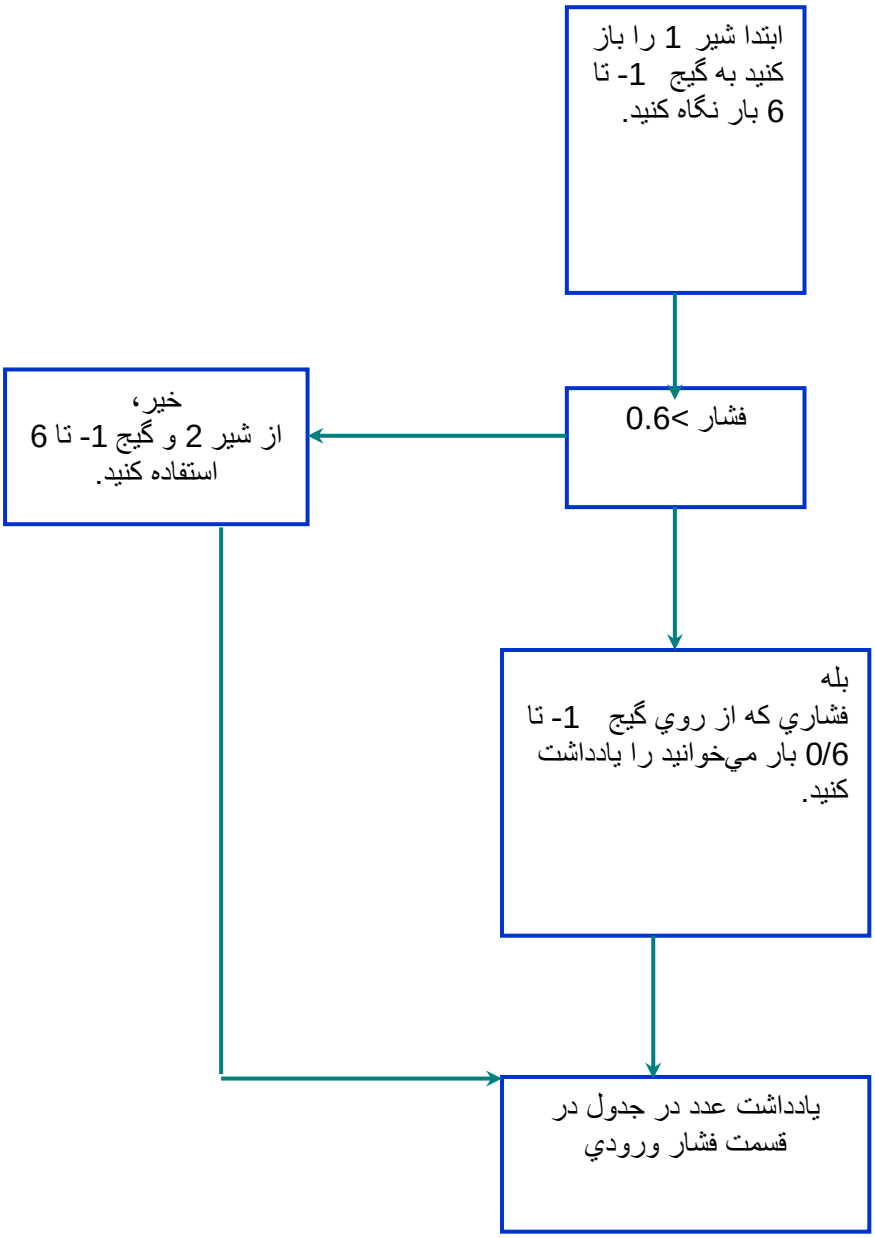
۳. چنانچه دبي عبوري از ونتوري Q، مساحت سطح مقطع ورودي A و مساحت مقطع گلوگاه A_t باشد، رابطه اختلاف فشار گلوگاه و ورودي را به دست آوريد (از افت فشار صرفنظر مي‌شود).

براي كار با اين دستگاه نحوه استفاده از گيج ها بايد مورد توجه خاصي قرار بگيرد چرا كه بر روي پنل دستگاه از گيج 1- تا 0/6 بار استفاده شده كه بسيار حساس مي باشد.

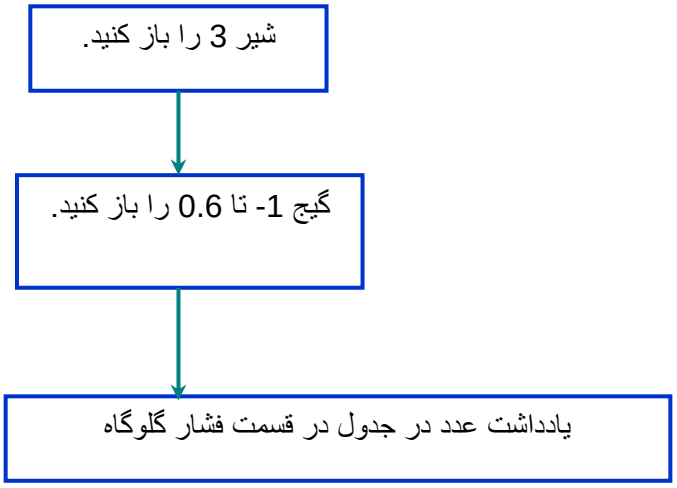
دستگاه دو عدد گيج با رنج 6 تا 1- و 1- تا 0/6 بار دارد. با استفاده از اتصالات و 5 شير اين دو گيج فشار سيستم را در سه نقطه نشان مي دهد. اين سه نقطه يكي مربوط به قبل گلوگاه – گلوگاه و بعد از گلوگاه است. پس از روشن كردن پمپ ابتدا شير 1 از سمت راست را باز مي كنيد. اگر فشار مورد نظر كمتر از 0/6 بود بايد به سراغ شير دوم رفته و آن را باز كنيد و از روي گيج دوم فشار را بخوانيد. در غير اين صورت همين فشاري كه از روي گيج اول مي خوانيد را به عنوان فشار ابتداي ونتوري يادداشت كنيم. براي فشار گلوگاه فقط از شير سوم و گيج با دقت 1- تا 0.6 بار استفاده كنيد. براي اندازه‌گيري فشار انتهايي ابتدا شير 5 را باز كرده، اگر فشار از 0.6 كمتر بود سراغ شير چهارم برويد ولي در غير اين صورت از روي گيج 1 تا 6 و همان شير 5 فشار را مي خوانيم.

توجه: در هر لحظه فقط بايد يك شير باز باشد.

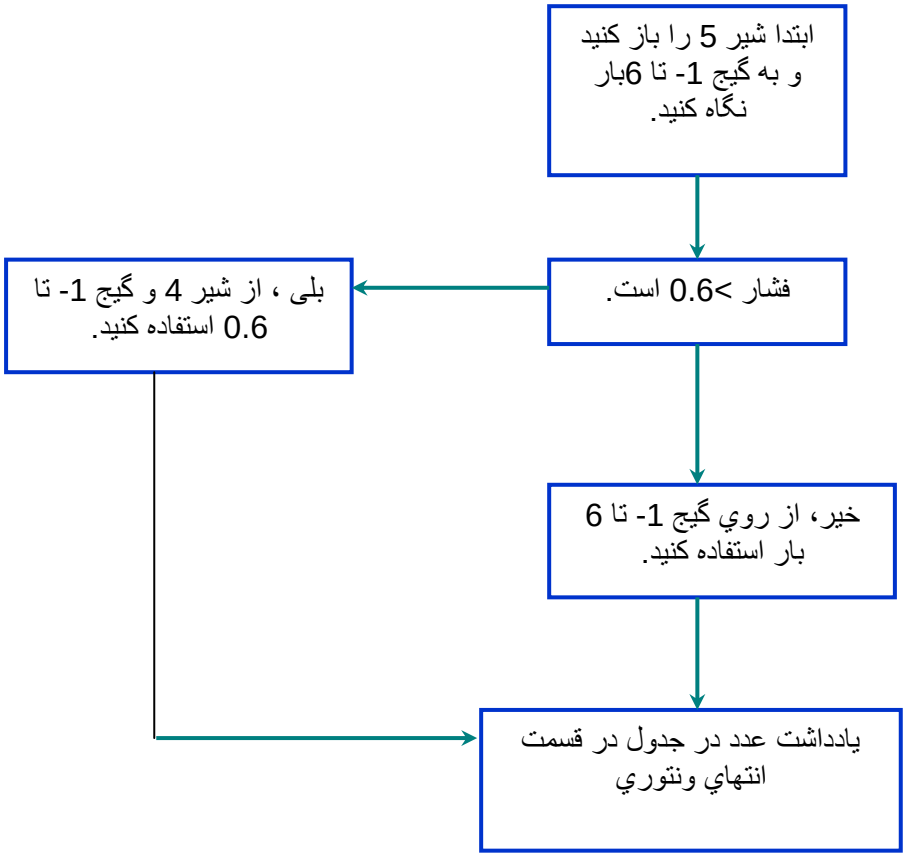
فشار ورودي ونتوري



فشاردرگلوگاه ونتوري



فشارخروجی ونتوري



آزمايش سيزدهم: پمپ گريز از مركز

هدف از آزمايش:

بررسي عملكرد پمپ گريز از مركز در دورهاي ثابت و دبي هاي متغير و دورهاي متغير، اندازهگيري هد، رسم منحني هاي مشخصه پمپ و تعيين نقطه بهينه و تعيين دماي كاركرد پمپ.

تئوري آزمايش:

پمپها را با توجه به شكل ساختمان داخلي و شرايط كاركرد به دو گروه پمپهاي دوراني و پمپ هاي رفت و برگشتي تقسيم ميكنند. پمپ مورد نظر اين آزمايش، پمپ دوراني و داراي پروانه شعاعي است.

هد تئوريك پمپي كه داراي مشخصه هاي زير باشد، به صورت رابطه (1) خواهد بود:

$$H_T = \frac{r_2\omega}{g}\left(r_2\omega + \frac{Q}{2\pi b_2 \tan\beta_2}\right) \qquad (1-13)$$

Q: دبي حجمي عبوري از پمپ

b_2: عرض پروانه پمپ

β_2: زاويه پره نسبت به مماس بر مسير دوران

با دانستن دانسيته سيال و مقادير هد پمپ و دبي جريان كه در آزمايش اندازهگيري ميشود، توان خروجي از پمپ را ميتوان از رابطه زير به دست آورد:

$$P_{out} = \rho g Q H_P \qquad (2-13)$$

توان ورودي را با استفاده از مشخصه موتور پمپ محاسبه نمود.

اگر I جريان و V ولتاژ باشد:

$$P_{in} = IV$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \qquad (3-13)$$

شكل و روش آزمايش:

دستگاه مورد نياز آزمايش از يك الكتروموتور تشكيل شده است كه دور آن را ميتوان توسط اينورتر تغيير داد و با كمك دورسنج ميتوان دور را به ميزان دلخواه تنظيم نمود.

پمپ گريز از مركز با شكل پرههاي محدب (back ward) از طريق كوپلينگ به محور موتور متصل و توسط آن دوران ميكند. جريان آب از مخزن از طريق رتامتر كه براي اندازهگيري دبي به كار ميرود وارد مدار شده و اين سيكل آزمايش بسته ميشود. با استفاده اينورتر، ميتوان مقدار توان خروجي از موتور (ورودي به پمپ) را محاسبه نمود.

از رابطه (2) جهت محاسبه توان خروجي از پمپ استفاده شود. مقدار ρ وابسته به دماي آب ميباشد و Q را با به كار بردن رتامتر ميتوان به دست آورد.

هد واقعي پمپ (H_P) از رابطه زير به دست ميآيد (شكل 1):

$$H_P = \left(\frac{\gamma_{Hg}}{\gamma_{water}} - 1 \right) \Delta h \qquad (4-13)$$

$$\rho_{mercury} g \Delta h = \Delta P$$

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

روي دستگاه آزمايش بين ورودي و خروجي پمپ، دو گيج فشار نصب مي‌شود كه از طريق آن مي‌توان افزايش فشار را در خروجي نسبت به ورودي اندازه‌گيري كرد. Δh اختلاف ارتفاع مانومتريك مي‌باشد.

موتور را روشن كرده و روي دور مورد نظر تنظيم مي نماييم. با تنظيم شير خروجي و اينورتر پمپ را در دور مورد نظر و در دبي هاي مختلف آزمايش مي‌كنيم. در هر مرحله اختلاف فشار مانومتريك، ارتفاع آب در روتامتر و مقدار گشتاور پمپ را تعيين مي‌كنيم.

نتايج آزمايش:

۱. منحني‌هاي مشخصه پمپ را كه شامل توان ورودي، توان خروجي، راندمان و هد پمپ است را بر حسب دبي و براي هر دور روي يك صفحه ترسيم كنيد.

۲. منحني‌هاي ترسيم شده را با يكديگر مقايسه و بحث نماييد.

۳. رابطه هد واقعي پمپ را اثبات نماييد. $H_P = \left(\frac{\gamma_{Hg}}{\gamma_{water}} - 1 \right) \Delta H$

۴. رابطه هد تئوري پمپ گريز از مركز را اثبات كرده و روي مقادير مختلف زاويه β بحث نماييد.

$$H_T = \frac{r_2 \omega}{g} \left(r_2 \omega + \frac{Q}{2\pi_2 b \tan \beta_2} \right)$$