

HYDRAULIC
LABORATORY

دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد

گزارش کار آزمایشگاه هیدرولیک

مدرس: محمدرضا مطلبی زاده

فهرست مطالب

عنوان

آزمایش شماره ۱- نیروی هیدرواستاتیک (مرکز فشار)

آزمایش شماره ۲- اثر ضربه جت

آزمایش شماره ۳- افت لوله و اتصالات

آزمایش شماره ۴- عدد رینولدز

آزمایش شماره ۵- جریان یکنواخت در کانال های باز

آزمایش شماره ۶- دریچه کشویی

آزمایش شماره ۱

«نیروی هیدرواستاتیک (مرکز فشار)»

«نیروی هیدرواستاتیک (مرکز فشار)»

۱- هدف

دریچه ها و تاسیسات مختلف ساخته شده در زیر آب تحت تاثیر نیروی هیدرواستاتیک وارد از طرف وزن آب هستند هدف از این آزمایش اندازه گیری نیرو و گشتاور حاصل از نیروی هیدرواستاتیک آب وارد بر یک صفحه مستوی که با زاویه های مختلف در داخل آب در حال سکون قرار گرفته باشد، حال می تواند آب بر بخشی از صفحه یا به طور کامل بر صفحه اثر کند.

۲- تئوری

هرگاه جسمی در مایعی غوطه ور شود به هر یک از سطوح آن از طرف مایع نیرویی وارد می شود که مقدار این نیرو به مساحت، ارتفاع سیال و جنس مایع بستگی دارد. مطابق شکل (۱) نیروی وارد بر هر سطح مستوی برابر است با:

$$F = P_c \cdot A = \gamma \bar{h} A = \gamma \bar{y} \sin \theta \cdot A \quad (1)$$

که در آن

γ : وزن مخصوص مایع

\bar{y} : فاصله مرکز سطح تا سطح آزاد مایع (y_c)

θ : زاویه ای است که امتداد مورد نظر با سطح افق می سازد.

A: مساحت سطح مورد نظر

مختصات نقطه اثر نیرو (مرکز فشار) نیز از روابط زیر به دست می آید:

$$y_P = \bar{y} + \frac{I_{\bar{x}}}{\bar{y}A} \quad (۲)$$

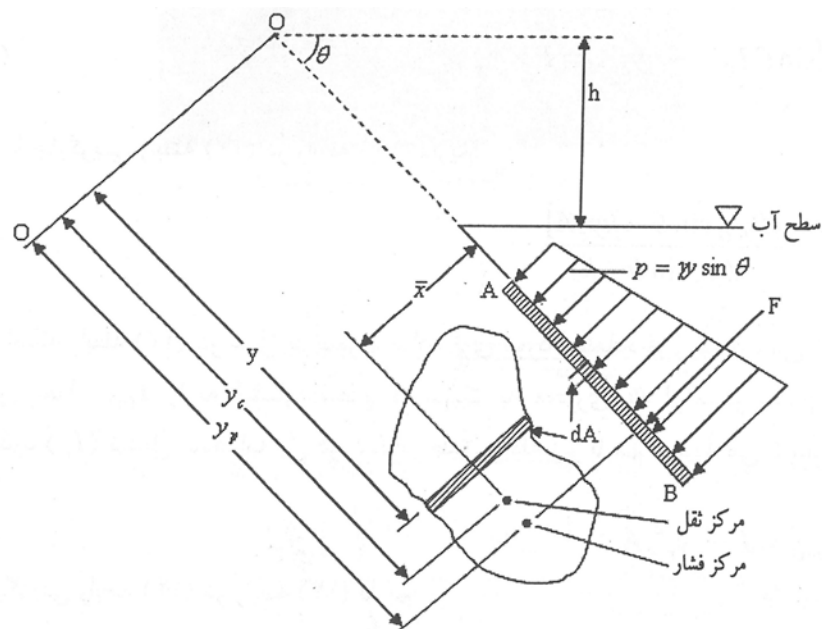
$$x_P = \bar{x} + \frac{I_{\bar{x}\bar{y}}}{\bar{x}A} \quad (۳)$$

که در آن:

$I_{\bar{x}}$: ممان اینرسی سطح حول محور عبوری از مرکز سطح

\bar{x} : فاصله روی محور x از مرکز سطح

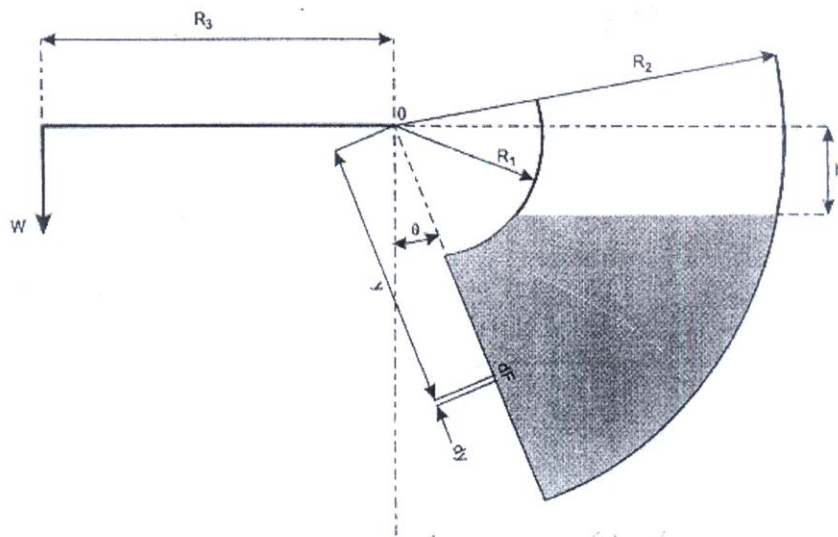
$I_{\bar{x}\bar{y}}$: ممان اینرسی حاصلضرب نسبت به دو محور متعامد که از مرکز سطح می گذرد.



شکل ۱- توزیع نیروی فشار ساکن وارد بر صفحه ای مسطح

سیالی که به داخل مخزن ریخته می شود بر تمام سطوحی که با آن در تماس است فشار وارد کرده و بر آنها نیرو وارد می کند این نیروها بر روی هر یک از سطوح نقاط اثر جداگانه ای دارند که با استفاده از رابطه های ۱ و ۲ و ۳ مقدار نیرو و نقطه اثر در آنها را می توان محاسبه کرد در دستگاه موجود نیروهای وارد بر صفحه های خمیده از مرکز محور تکیه گاه عبور کرده و ایجاد لنگر نمی کنند. بنابراین ، فقط نیروی وارد بر صفحه مستوی مستطیل شکل حول محور گذرنده از نقطه O ایجاد لنگر M می کند که مقدار آن بسته به اینکه صفحه مستطیل شکل در حالت غوطه وری کامل یا ناقص باشد، از روابط زیر محاسبه می شود.

الف) وقتی که صفحه کاملاً زیر آب باشد (غوطه وری کامل $h < R_1 \cos \theta$)



شکل ۲- صفحه مستوی مستطیل شکل کاملاً زیر آب است

اگر یک المانی به فاصله y از مرکز O و به عرض dy در نظر بگیریم مطابق شکل

داریم.

$$dF = P.dA = (\gamma \bar{h})(B.dy) = \gamma(y \cos \theta - h)B.dy$$

نیروی وارد بر المان

B: عرض مخزن

γ : وزن واحد حجم مایع

بنابراین مجموع ممانها برابر است با:

$$M = \int dF.y = \int \gamma(y \cos \theta - h)BYdy$$

$$M = \gamma B \int (y^2 \cos \theta - hy)dy$$

$$M = \gamma B \int_{R_1}^{R_2} (y^2 \cos \theta - hy)dy = \gamma B \left[\frac{y^3 \cos \theta}{3} - \frac{hy^2}{2} \right]_{R_1}^{R_2} =$$

$$M = \gamma B \left[\frac{y^3 \cos \theta}{3} - \frac{hy^2}{2} \right]_{R_1}^{R_2}$$

$$M = \frac{\gamma B \cos \theta}{3} (R_2^3 - R_1^3) - \frac{\gamma B}{2} (R_2^2 - R_1^2)h$$

در این آزمایش داریم:

$$\gamma = \gamma_{water} = 9806$$

$$B = 75mm$$

$$R_1 = 100mm$$

$$R_2 = R_3 = 200mm / \theta = 0^\circ$$

پس:

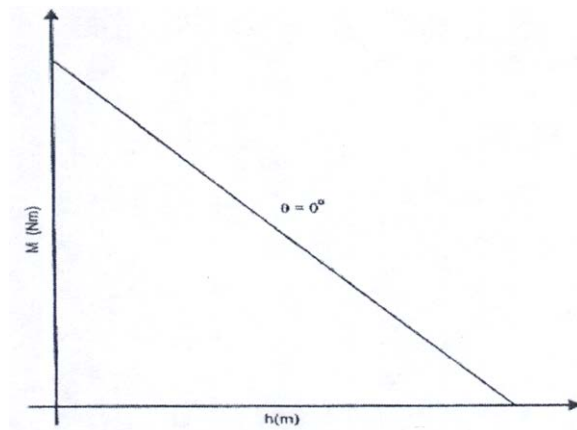
$$M = \frac{9806 \times 0.075 \times 1}{3} (0.2^3 - 0.1^3) - \frac{9806 \times 0.075}{2} (0.2^2 - 0.1^2)h \Rightarrow$$

$$M = 1.71605 - 11.03175h \quad (N.m) \quad (I)$$

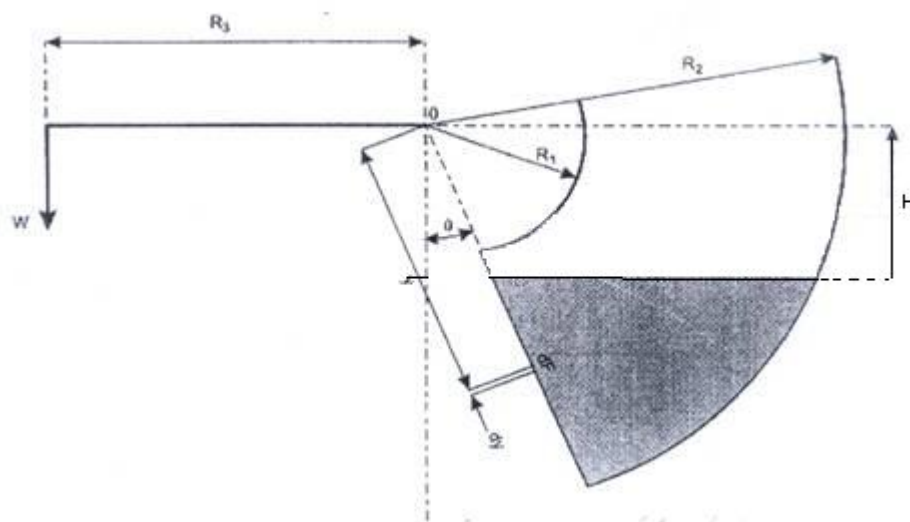
جهت محاسبه M تئوری در حالت غوطه وری کامل

این معادله به فرم $y=mx+c$ است. رسم M بر حسب h یک نمودار خطی از گرایان می

دهد.



(ب) وقتی که قسمتی از صفحه زیر آب است (غوطه وری ناقص $h > R_1 \cos \theta$)



شکل ۳- بخشی از صفحه ی مستوی مستطیل شکل زیر آب است

$$M = \gamma B \int_{h \sec \theta}^{R_2} (y^2 \cos \theta - hy) dy$$

$$M = \gamma B \left[\frac{y^3 \cos \theta}{3} - \frac{hy^2}{2} \right]_{h \sec \theta}^{R_2}$$

$$M = \frac{\gamma B \cos \theta}{3} (R_2^3 - h^3 \sec^3 \theta) - \frac{\gamma B h}{2} (R_2^2 - h^2 \sec^2 \theta)$$

$$M = \frac{\gamma B R_2^3 \cos \theta}{3} - \frac{\gamma B h^3 \sec^3 \theta}{3} - \frac{\gamma B R_2^2 h}{2} + \frac{\gamma B h^3 \sec^2 \theta}{2}$$

$$M = \frac{\gamma B R_2^3 \cos \theta}{3} - \frac{\gamma B R_2^2 h}{2} + \frac{\gamma B h^3 \sec^2 \theta}{6}$$

در این آزمایش داریم:

$$\gamma = \gamma_{\text{water}} = 9806$$

$$B = 75 \text{ mm}$$

$$R_1 = 100 \text{ mm}$$

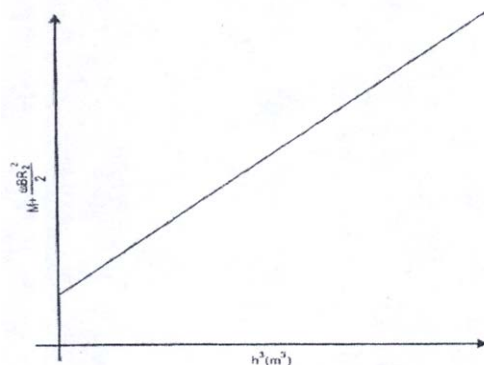
$$R_\theta = R_3 = 200 \text{ mm} / \theta = 0^\circ$$

پس:

$$M = \frac{9806 \times 0.075 \times 1}{3} (0.2^3 - 0.1^3) - \frac{9806 \times 0.075}{2} (0.2^2 - 0.1^2) h \Rightarrow$$

$$M = 1.9615 - 14.709h + 122.575h^3 \text{ (N.m)} \quad (II)$$

در این قسمت h^3 را بر حسب $M + \frac{\gamma B R_2^2 h}{2}$ رسم می کنیم.



۳- وسایل مورد نیاز

وزنه - دستگاه آزمایش فشار ، آب ، مایع رنگی ، ...



شکل ۴

۴- شرح دستگاه:

دستگاه یک مخزن ربع دایره ای مانند شکل (۵) که از جنس پلاستیک فشرده شفاف ساخته شده است این مخزن توسط میله صاف حول محور در تکیه گاه با حداقل اصطکاک دوران کند جهت تنظیم زاویه دلخواه از مخزن مکعبی که در سمت چپ تکیه گاه قرار دارد به وسیله کاهش یا افزایش مقدار آب استفاده می شود همچنین در این محل ، میله ای نگه دارنده وزنه ها برای برقراری تعادل دو طرف تکیه گاه وجود دارد جهت تراز کردن خود دستگاه چهار عدد پیچ تنظیم و یک تراز حباب دار استفاده می شود.



شکل ۵- دستگاه آزمایش مرکز فشار

۵- نحوه انجام آزمایش

۱-۵- دستگاه را با استفاده از پیچ‌های قابل تنظیم پایه‌های آن و با کمک تراز روی

آن تراز کنید.

۲-۵- با اضافه نمودن ماده رنگی به آب درون مکعب (جهت خواندن بهتر قرائت)،

جسم ربع دایره را به نحوی تنظیم کنید که خط صفر نقاله آن با خط صفر شیشه منطبق شود

و صفحه به طور قائم قرار گیرد.

۳-۵- یک وزنه 20g در محل میله نگه‌دارنده وزنه قرار دهید و در داخل مخزن آن

قدر آب بریزید که مخزن به حالت تعادل اولیه خود برگردد و سطح آب (h) نسبت به محور

چرخش و وزن وزنه (w) را یادداشت کنید.

۴-۵- مرحله ۳ را با اضافه کردن هر بار ۲۰ گرم تا زمانی که صفحه AB مغروق شود در

این حالت $h > 10$ بوده و غوطه وری به صورت ناقص است.

۵-۵- حال که $h = 10$ شد وزنه ها را به صورت ۲۰ گرم اضافه کرده تا مقدار $h = 0$ شود

که این حالت غوطه وری کامل است.

۶-۵- این آزمایش را می توان در زوایای مختلف انجام داد تا از نتایج به دست آمده

جهت اثبات مقایسه فرمول های تئوری و عملی استفاده نمود.

۶- محاسبات و تحلیل نتایج

در حالت غوطه وری کامل و ناقص M تجربی را از رابطه زیر به دست می آوریم.

$$R_3 = 0.2$$

$$g = 9.81$$

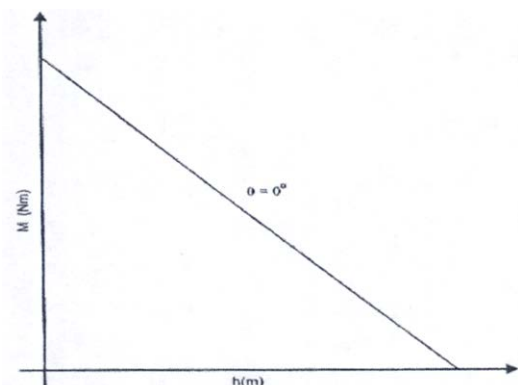
$$M = m \times 9.81 \times R_3 \quad (N.m) \quad \longrightarrow \quad M = 1.962W \quad (N.m) \quad (III)$$

مقادیر ثبت شده در آزمایش را در جدول زیر ثبت کرده و نمودار هر دو مرحله را ترسیم می

کنیم.

الف) غوطه وری کامل

| γ (gm) | M $\frac{m \times 9.81 \times R_3}{10^3}$ (Nm) | h (mm) | h (m) | h^3 (m^3) | $M + \frac{\gamma BR_3^2 h}{2}$ (Nm) | θ° |
|---------------|--|-----------|----------|--------------------|---|----------------|
| | | | | | | |



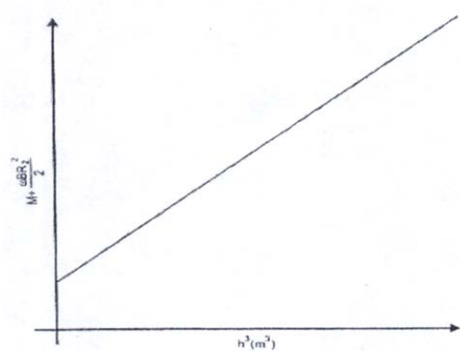
عملی

$$M = \frac{\gamma B}{3}(R_2^3 - R_1^3) - \frac{\gamma B}{2}(R_2^2 - R_1^2)h$$

تئوری

ب) غوطه وری ناقص

| γ (gm) | M $\frac{m \times 9.81 \times R_2}{10^3}$ (Nm) | h (mm) | h (m) | h^3 (m^3) | $M + \frac{\gamma B R_2^2 h}{2}$ (Nm) | θ° |
|---------------|--|-----------|----------|--------------------|--|----------------|
| | | | | | | |



عملی

$$M + \frac{\gamma B R_2^2 h}{2} = \frac{\gamma B R_2^3}{3} + \frac{\gamma B}{6} h^3$$

تئوری

نتایج به دست آمده از آزمایش می بایست با نتایج به دست آمده از روش تئوری تا حد زیادی مطابقت داشته باشد تفاوت بین نتایج مربوط به خطا در اندازه گیری ها و تلورانس دستگاه می باشد.

۷- سوالات

۷-۱- چرا با افزایش آب در روی جسم مرکز فشار به مرکز سطح جسم نزدیک می شود؟

۷-۲- جسمی با شکل دلخواه و مستوی را که در داخل آب مغروق است در نظر بگیرید رابطه ای برای کل نیروی وارد بر آن از طرف آب به دست آورید؟

۷-۳- در مورد تعامل یک جسم مغروق رها شده در آب بحث کنید؟

۷-۴- چرا در محاسبه گشتاور نیروهای وارده از طرف مایع بر جسم معلق حول نقطه O

فقط نیروهای وارد بر سطح چهار گوش سمت راست در نظر گرفته شده است؟

۷-۵- چرا مقداری $(I_{xy})G$ برای سطحی که نسبت به محور y تقارن داشته باشد صفر است؟

۷-۶- نیروهای وارد بر هر کدام از سطوح را در حالت غوطه وری کامل به صورت پارامتری حساب کنید؟

۷-۷- دانستن مرکز فشار در چه مواقعی مهم است و اهمیت آن چیست؟

۷-۸- دو حالت معمول یک جسم نسبت به سیال عبارتند از غوطه وری و شناوری هر

یک از حالات فوق را توضیح دهید و معین کنید جهت تعادل جسم در هر حالت مرکز فشار

نسبت به مرکز ثقل باید از چه وضعیتی باشد.

۷-۹- در حالتی که $h=0$ و $\theta=0$ است مقدار و نقطه اثر نیروی وارد بر هر یک از

سطوح را پنجمانه حساب کنید.

آزمایش شماره ۲

«اثر ضربه جت آب»

«ضربه جت آب»

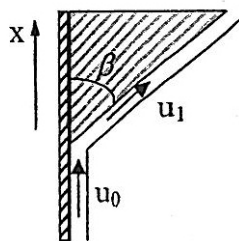
۱- هدف

در این آزمایش نیروی حاصل از برخورد جت آب به یک صفحه مسطح یا یک نیم کره وارونه اندازه گیری خواهد شد و نتایج حاصل از آزمایش با نتایج به دست آمده از محاسبه مقایسه خواهد شد.

۲- تئوری

هرگاه جت سیالی به صفحه ای برخورد کرده و منحرف شود، نیرویی ایجاد می شود که با نرخ تغییرات اندازه حرکت متناسب است. شکل (۱) را در نظر بگیرید که سیال در اثر برخورد به مانع تغییر مسیر می دهد اندازه حرکت جت ورودی $m^{\circ}u_0$ است که در آن m° دبی جرمی جریان و u_0 سرعت جت است پس از این که سیال به اندازه ای زاویه β منحرف شد اندازه حرکت در جهت x برابر $m^{\circ}u_1 \cos \beta$ است. در نتیجه نیروی وارد بر صفحه، R_x ، در جهت x برابر است با:

$$R_x = m^{\circ}(u_0 - u_1 \cos \beta) \quad (1)$$



شکل ۱- تغییر مسیر جت در اثر برخورد با مانع

در حالی که صفحه مسطح باشد شکل (۲-الف)، $\cos \beta = \cos 90^\circ = 0$ ، و رابطه ی

(۱) به صورت زیر ساده می شود.

$$R_x = m^{\circ} u_0 \quad (۲)$$

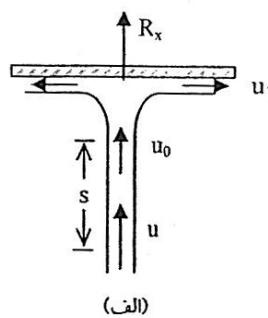
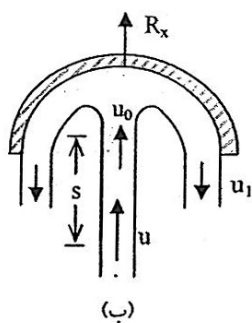
در حالت نیمکره، شکل (۲-ب)، $\cos \beta = \cos 180^\circ = -1$ ، و رابطه (۱) به صورت

زیر ساده می شود:

$$R_x = m^{\circ} (u_0 + u_1) \quad (۳)$$

حال اگر کاهش سرعت ناچیز باشد $u_0 \approx u_1$ است پس:

$$R_x = 2m^{\circ} u_0 \quad (۴)$$



شکل ۲- جریان جت بر روی صفحه های مسطح و نیمکره

در وسیله مورد آزمایش اندازه گیری سرعت u_0 ممکن نیست، ولی سرعت u را می

توان تعیین کرد با توجه به اثرات جاذبه و فاصله ی s بین خروجی جت و محل برخورد آن

به صفحه، سرعت u_0 از رابطه زیر به دست می آید:

$$u^2 - u_0^2 = 2gs \rightarrow u_0^2 = u^2 - 2gs \quad (۵)$$

مقدار سرعت از مقدار دبی اندازه گیری شده به دست می آید و روش به دست آوردن دبی در شرح آزمایش ذکر می شود.

۳- وسایل مورد نیاز

میز هیدرولیکی - مخزن و کرنومتر - لوله و افشانک - وزنه



شکل ۳- نمای کامل دستگاه

۴- شرح دستگاه

۴-۱- قسمت اصلی دستگاه

قسمت اصلی دستگاه آزمایش ظرف استوانه ای شفاف است که توسط تکیه گاهی بر روی میز هیدرولیکی قرار می گیرد، (شکل ۴) در داخل ظرف استوانه ای افشانکی قرار دارد که از قسمت پایین ظرف استوانه ای ، آب وارد شده و پس از خروج از افشانک ، جت آب

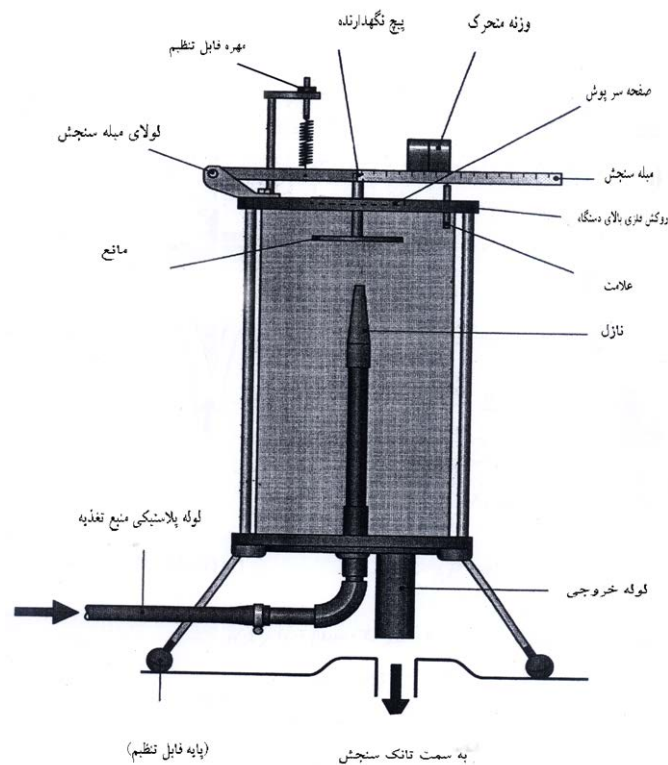
خروجی به مانع مسطح یا نیمکره برخورد می کند. بر روی صفحه مستطیل به مانع، مجموعه خط کش مدرج، وزنه تعادل، پیچ و فنر تنظیم قرار دارد که به تکیه گاه متصل بوده و لنگر نیروی حاصل از جت آب که بر هر یک از صفحات وارد می شود حول این تکیه گاه قابل اندازه گیری است.

جرم وزنه تعادل 60.8

فاصله بین مرکز مانع تا محور تکیه گاه $152/5\text{ mm}$

قطر افشانک 10 mm

فاصله سر افشانک تا محل مانع S 35 mm



شکل ۴- مشخصات دستگاه آزمایش

۲-۴- میز هیدرولیکی

میز هیدرولیکی وسیله ای است که در آزمایشگاه سیالات به طور گسترده در اغلب آزمایش ها به کار می رود (شکل ۵) نمای کلی این میز را نشان می دهد.



شکل ۵- نمای کلی میز هیدرولیکی

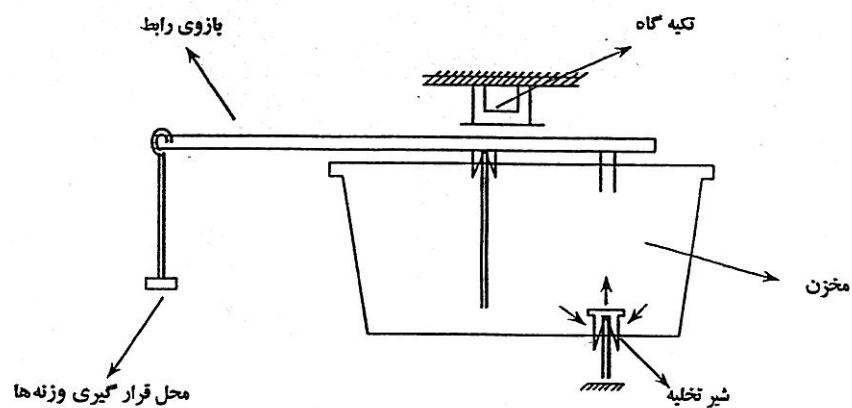
این میز شامل منبع اصلی آب ، پمپ ، شیر کنترل و تانکر اندازه گیری دبی است.

شکل (۶) مقطع این میز را با اجزای مختلف آن نشان می دهد.



شکل ۶- مقطع میز هیدرولیکی

میز هیدرولیکی علاوه بر تامین آب مورد نیاز هر وسیله ی آزمایش ، دارای تانک مخصوص برای اندازه گیری دبی وزنی سیال است شکل (۷) اجزای مختلف تانک اندازه گیری دبی را نشان می دهد.



شکل ۷- اجزای تانک اندازه گیری دبی

همانگونه که در شکل (۷) دیده می شود تانک اندازه گیری دبی شامل مخزن اندازه گیری ، شیر تخلیه و سیستم ترازو است. ترازو شامل تکیه گاه ، بازوی ترازو با نسبت ۳ به ۱ و کفه مربوط به وزنه ها می باشد برای اندازه گیری دبی به کمک تانک اندازه گیری دبی مراحل زیر را باید انجام داد.

۱- در ابتدا چون شیر تخلیه باز است آب در مخزن ذخیره نمی شود و چون اهرم مربوط به راه اندازی ترازو در وضعیت بالا قرار دارد و مخزن نسبت به تکیه گاه در وضعیت شکل (۸-الف) قرار می گیرد پس از اینکه اهرم را به سمت پایین چرخانیم شیر تخلیه بسته می شود و آب در داخل مخزن اندازه گیری جمع می شود. در ابتدای انی مرحله وزن کفه بیشتر از وزن مخزن است ، بنابراین قسمت کف نسبت به تکیه گاه پایین تر قرار می گیرد

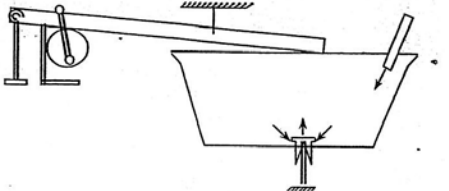
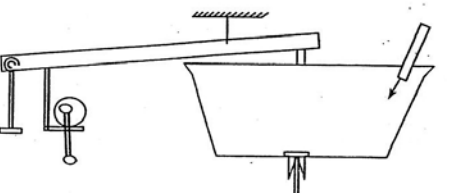
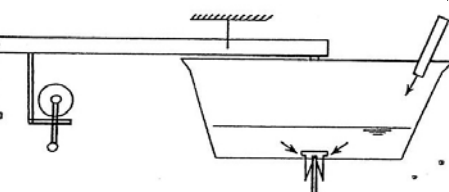
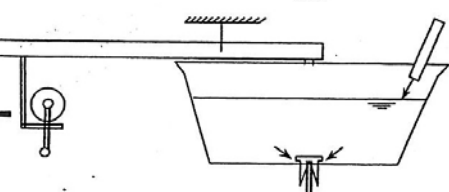
شکل (۸-ب)

۲- زمانیکه آب در مخزن اندازه گیری در حال جمع شدن است لحظه ای فرا می رسد که وزن مجموعه مخزن اندازه گیری و آب داخل آن با وزن کفه به حالت تعادل می رسد و بازوی رابط بالا آمده و در وضعیت افقی قرار می گیرد درست در لحظه مشاهده این وضعیت باید کرنومتر اندازه گیری زمان را به کار انداخت. شکل (۸-ج)

۳- پس از شروع به کار کرنومتر ، وزنه ای را بر روی کفه ترازو قرار می دهیم که در نتیجه قسمت کفه سنگین تر شده و به پایین می رود و البته همزمان آب نیز در حال جمع شدن در مخزن اندازه گیری است.

۴- مجددا در لحظه ای که آب جمع شده در مخزن اندازه گیری با وزنه کفه و وزنه روی آن به تعادل رسیدند میله رابط بالا آمده و در وضعیت افقی قرار می گیرد که در لحظه بالا آمدن باید کرنومتر را قطع کرد و زمان را ثبت نمود. شکل (۸-د)

به این ترتیب مراحل مختلف اندازه گیری دبی پایانی می پذیرد و باید اهرم را به سمت بالا چرخاند تا آب جمع شده در مخزن اندازه گیری تخلیه شود و مخزن برای اندازه گیری بعدی آماده شود.

| | |
|---|--|
|  | <p>الف) اهرم راه اندازی در وضعیت بالا قرار دارد و شیر تخلیه باز می باشد.</p> |
|  | <p>ب) اهرم راه اندازی در وضعیت پایین قرار دارد و شیر تخلیه بسته است بنابراین آب در مخزن جمع می شود.</p> |
|  | <p>ج) بازوی رابط بالا آمده و در وضعیت افقی قرار می گیرد اندازه گیری زمان شروع می شود.</p> |
|  | <p>د) بازوی رابط با وجود وزنه دوباره بالا آمده و در وضعیت افقی قرار می گیرد اندازه گیری زمان متوقف می شود.</p> |

شکل ۸- نحوه ی عملکرد دستگاه اندازه گیری دبی

۵- نحوه انجام آزمایش

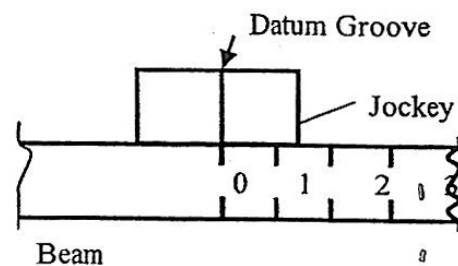
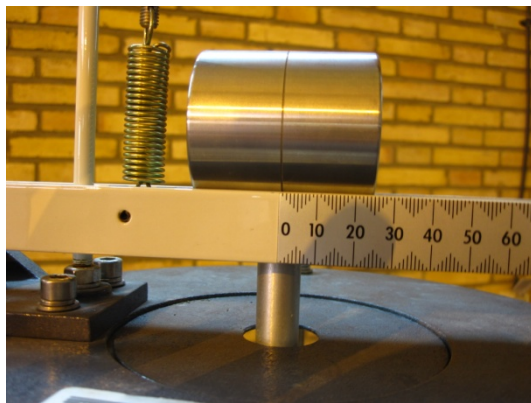
۵-۱- مانع مسطح را به کمک پیچ موجود در بالای دستگاه نصب کنید. پیش از انجام

آزمایش دستگاه را باید کالیبره کرد برای کالیبره کردن دستگاه از پیچ های تنظیم موجود در

بالای فنر ، پیچ های پایه دستگاه و همچنین شاقول کوچک استوانه ای که خط مدرج

آویزان است باید استفاده کرد دستگاه هنگامی کالیبره خواهد شد که:

۵-۱-۱- وزنه تعادل روی موقعیت صفر خط کش مدرج قرار گیرد. شکل (۹)

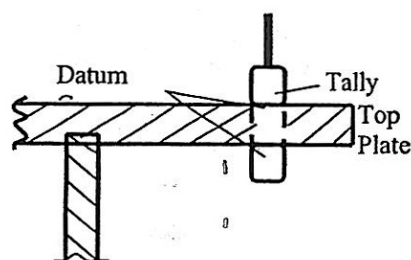


شکل ۹- وزنه تعادل در موقعیت صفر

۵-۱-۲- خط کش مدرج در وضعیت کاملاً افقی قرار گیرد در چنین وضعیتی شاقول

استوانه ای از پایین و از بالای شکافی که از آن عبور می کند ، به یک اندازه به نظر می رسد.

شکل (۱۰)



شکل ۱۰- شاقول در موقعیت تعادل

۳-۱-۵- جت آب به صورت کاملاً عمودی به مانع برخورد کند.

۲-۵- پمپ را روشن کرده و شیر کنترل جریان را باز کنید تا آب از قسمت پایین

محفظه وارد شده و به صورت جت به صفحه برخورد کند و صفحه از تعادل اولیه خارج

شده که باعث عدم تعادل خط کش مدرج نیز می شود.

۳-۵- با جابجا کردن وزنه تعادل در امتداد خط کش و قرار دادن وزنه ۶۰۰ گرم روی

عدد ۱۰ و تنظیم جریان به وسیله شیر کنترل و شاقول، خط کش را به حالت تراز (افقی) در

آورید.

۴-۵- وزنه ۸ کیلوگرم را روی کفه وزنه قرار دهید، اهرم را آزاد کرده و همزمان

استارت کرنومتر را بزنید تا زمانی که اهرم به حالت تعادل رسیده همزمان با آن Stop

کرنومتر را زده و زمان، وزن را ثبت کنید.

۵-۵- میزان وزنه را تا زمان ۶۰ ثانیه با ۸ کیلوگرم طبق مرحله ۳-۵ و کاهش واحدی

اعداد روی خط کش مدرج انجام دهید.

۵-۶- پس از رسیدن به زمان ۶۰ ثانیه مراحل آزمایش را از ۳-۵ تا ۵-۵ با وزنه ۶kg،

۴kg و ۲kg تکرار کنید.

۵-۷- با انجام مراحل فوق مقادیر دبی و فواصل را ثبت کرده و نتایج را در جدول

بنویسید.

۶- محاسبات و تحلیل نتایج

سطح مقطع لازم ($A = 78.5mm^2$) جرم وزنه استوانه ای ($m = 600g$)

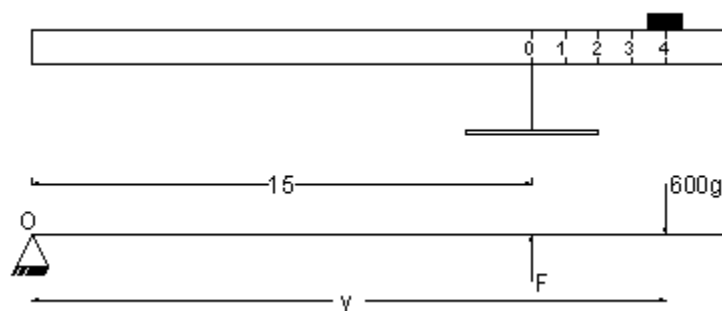
قطر نازل ($D = 10mm$) فاصله بین مانع تا نوک نازل ($S = 35mm$)

چگالی آب ($\rho = 10^3 kg / m^3$)

فاصله بین مرکز مسطح مانع تا لولای اهرم کنسولی ($0.15m$)

زمانی که وزنه به اندازه y_m از مبدا (صفر اهرم) قرار دارد نیروی وارد بر مانع بر حسب

نیوتن با ممان گیری حول لولای اهرم (O) بدست می آید:



$$F \times 0.15 = 0.6 \times g \times y \Rightarrow F = \frac{0.6 \times g \times y}{0.15} \Rightarrow F = 4gy(N)$$

از آنجایی که $m^{\circ} = PAu$ سرعت آب خروجی از نازل برابر است با:

$$m^{\circ} = \rho Au \rightarrow u = \frac{m^{\circ}}{\rho A} \Rightarrow u = \frac{m^{\circ}}{10^3 \times 78.5 \times 10^{-6}} = 12.75 m^{\circ} (m/s)$$

مقدار u_0 به دلیل نیروی جاذبه و برخورد جت با مانع کمتر از مقدار u است بنابراین

u_0 برابر:

$$u_0^2 = u^2 - 2gs = u^2 - (2 \times 9.81 \times 0.035) \Rightarrow u_0^2 = u^2 - 0.687 \Rightarrow u_0 = \sqrt{u^2 - 0.687}$$

مقدار m^0 (دبی جرمی) از رابطه زیر به دست می آید:

$$m^0 = \frac{\text{جرم آب}}{\text{زمان}} \quad (kg/sec)$$

حال جدول مربوط را تکمیل می کنیم.

جدول شماره ۱

| ردیف | $3m$ (kg) | t (sec) | Y (cm) | m^0 (kg/sec) | u (m/s) | u_0 (m/s) | $m^0 u_0$ (N) | $F = 4gy$ (N) |
|------|--------------|--------------|-------------|-------------------|--------------|----------------|------------------|------------------|
| | | | | | | | | |

در جدول زیر مقادیر مختلف نیروی ممتوم (R_x) برای موانع با اشکال و زوایای

مختلف آمده است.

جدول شماره ۲

| شکل مانع <i>shape</i> | β | R_x |
|-----------------------|---------|----------------|
| → | 90° | $m^0 u_0$ |
| → > | 120° | $m^0 u_0 1.5$ |
| →) | 180° | $m^0 u_0 2$ |
| \ → | 30° | $m^0 u_0 0.87$ |

بررسی حالت های مختلف :

طبق جدول شماره یک نمودار زیر را بر حسب F عملی و $m^0 u_0$ رسم می کنیم. شیب

نمودار روبرو طبق روابط زیر برای حالت های مختلف بدست می آید:

$$Tg \alpha = \frac{F}{m^0 u} = 1$$

مانع تخت

$$Tg \alpha = \frac{F}{m^0 u} = 1.5$$

مانع مخروطی

$$Tg \alpha = \frac{F}{m^0 u} = 2$$

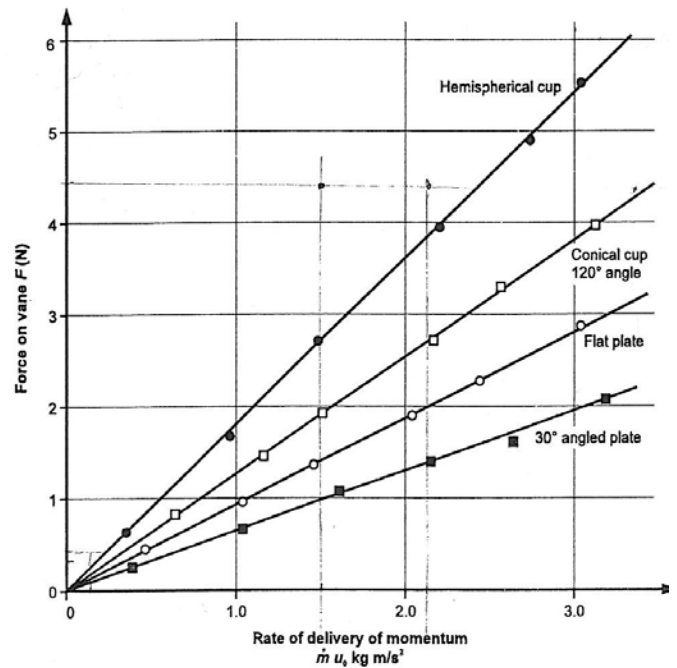
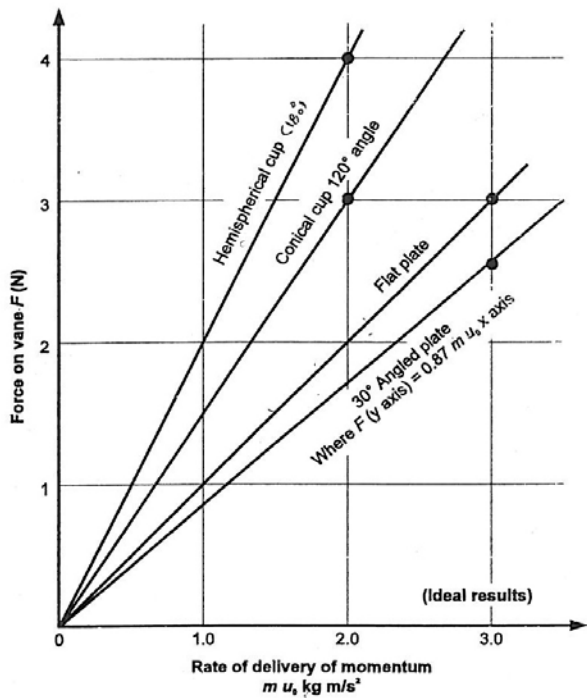
مانع نیمکره

$$Tg \alpha = \frac{F}{m^0 u} = 0.87$$

مانع مایل

به علت وجود خطاهای آزمایشگاهی مقادیر شیب ممکن است با تقریب باشد در

حدود ۲ تا ۳ درصد قابل قبول است.



۷- سوالات

۷-۱- فاصله افشانک تا پره چه تاثیری بر کارایی سیستم می تواند داشته باشد؟

۷-۲- اگر خطاهای زیر در دستگاه موجود باشد چه خطایی در محاسبه کارایی سیستم

ایجاد می شود؟

الف) جرم وزنه یک از آنچه گفته شده کمتر باشد.

ب) فاصله نوک نازل تا مانع یک میلی متر از آنچه گفته شده بیشتر باشد.

ج) قطر آبفشان یک میلی متر با آنچه گفته شده اختلاف داشته باشد.

۷-۳- فرض شده است که سرعت جت در موقع آن یکنواخت است اگر چنین نباشد

در مقدار نیروی محاسبه شده چه فرقی ایجاد می شود. برای مثال فرض کنید سرعت در

نصف مقطع جت $0.5V$ و در نصف دیگر $1.5V$ باشد که V سرعت متوسط مقطع است.

۷-۴- تطابق نتایج تئوری و عملی چگونه است.

۷-۵- اگر منحنی های رسم شده از مرکز عبور نکنند علل آن چیست.

۷-۶- چرا نیروی وارد بر مانع نیمکره ای ، اندکی کمتر از دو برابر نیروی وارد بر مانع

مسطح است؟

آزمایش شماره ۳

«اصطکاک و افت»

«اصطکاک و افت»

۱- هدف

به علت وجود اصطکاک و همچنین اتصالات، افت انرژی در مسیر لوله ها به وجود می آید میزان این افت به پارامترهای زیادی از قبیل جنس لوله، طول لوله، نوع اتصالات و نوع جریان بستگی دارد تخمین میزان افت انرژی برای محاسبه قدرت پمپ ها و انرژی لازم برای به جریان انداختن یک دبی مشخص در مسیر لوله ضروری می باشد. هدف از این آزمایش محاسبه افت انرژی حاصل از اصطکاک در لوله های صاف و زبر و همچنین افت ناشی از اصطکاک در اتصالات می باشد.

۲- تئوری

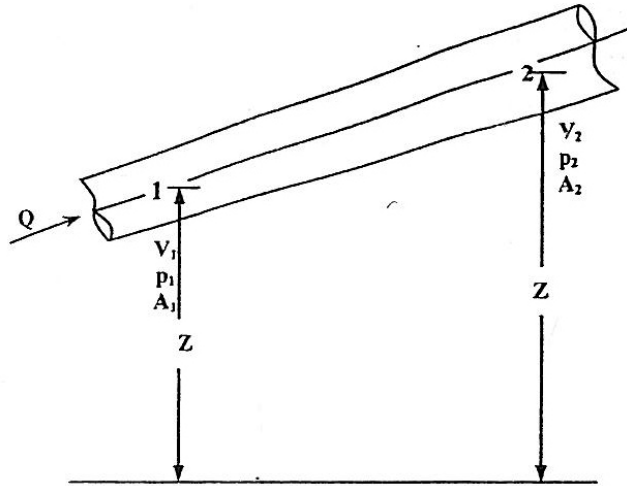
در جریان سیال غیر قابل تراکم داخل یک لوله معادلات زیر حاکم هستند (شکل ۱)

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (۱) \text{ معادله پیوستگی}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_{L_{1=2}} \quad (۲) \text{ معادله انرژی}$$

که در آن Q دبی حجمی، V سرعت متوسط، A سطح مقطع، Z ارتفاع از سطح مبنا، P

فشار، h_L افت هر انرژی، ρ چگالی و g شتاب جاذبه است.



شکل ۱- جریان در لوله

افت هد در یک مدار لوله کشی از دو قسمت تشکیل می شود.

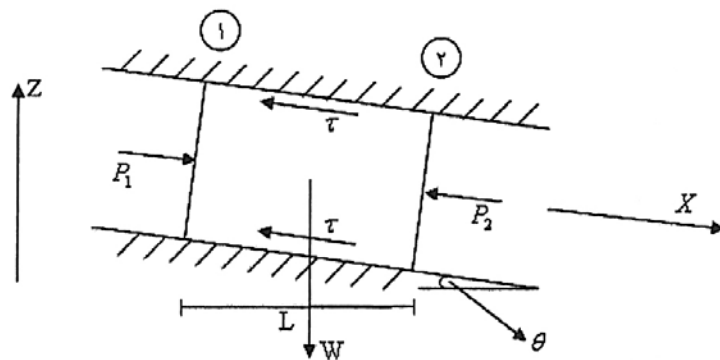
الف) افت ناشی از مقاومت جریان در لوله که افت هد اصلی (h_f) نامیده می شود.

ب) افت موضعی ناشی از اجزایی چون شیرها، تغییر مقطع های ناگهانی، خم ها و غیره

که افت هد فرعی (h_e) نامیده می شود.

الف) افت هد اصلی (h_f)

حجم کنترل به طول L در یک لوله مطابق شکل (۲) را در نظر بگیرید.



شکل ۲

در یک جریان دائمی یکنواخت

$$\sum F_x = 0 \rightarrow P_1 A - P_2 A - \tau_0 P_t L + \rho g A L \sin \theta = 0 \quad (3)$$

که P فشار، τ تنش جداره، ρ چگالی سیال، g شتاب ثقل، A سطح مقطع، P_t محیط

مقطع و θ شیب لوله می باشد. از آنجایی که:

$$\sin \theta = \frac{Z_1 - Z_2}{L} \quad (4)$$

که Z_1 و Z_2 تراز مرکز دو مقطع مورد نظر می باشد پس داریم:

$$P_1 A - P_2 A - \tau_0 P_t L + \rho g A L \left(\frac{Z_1 - Z_2}{L} \right) = 0 \quad (5)$$

$$A \left[(P_1 - P_2) + \rho g L \left(\frac{Z_1 - Z_2}{L} \right) \right] - \tau_0 P_t L = 0$$

با تقسیم بر AL رابطه به صورت زیر ساده می شود.

$$\frac{1}{L} [(P_1 - P_2) + \rho g (Z_1 - Z_2)] - \tau_0 \frac{P_t}{A} = 0 \quad (6)$$

و در نتیجه :

$$\tau_0 = -\frac{A}{P_t} \frac{1}{L} \Delta(P + \rho g Z) \quad (7)$$

از طرفی که بین دو مقطع بالا معادله برنولی (انرژی) نوشته شود:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f \quad (8)$$

که h_f افت انرژی و V سرعت مقطع می باشد از آنجایی که $V_1 = V_2$ داریم:

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 = h_f$$

$$\frac{\Delta P}{\rho g} + \Delta Z = h_f \quad (9)$$

$$h_f = \frac{1}{\rho g} \Delta(P + \rho g Z)$$

با ترکیب دو رابطه (۶) و (۸) داریم:

$$\left. \begin{aligned} h_f &= -\frac{1}{\rho g} \Delta(P + \rho g Z) \rightarrow h_f \rho g = \Delta(P + \rho g Z) \\ \tau_0 &= -\frac{A}{P_t} \cdot \frac{1}{L} \Delta(P + \rho g Z) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \tau_0 = -\frac{A}{P_t L} \rho g h_f$$

$$\Rightarrow \tau_0 = \frac{A \rho g h_f}{P_t L} \quad (10)$$

داریسی و ایسباخ در یک جریان آشفته یکنواخت رابطه تنش جداره تنش جداره و

سرعت جریان را به صورت زیر فرض کردند:

$$\tau_0 = -\frac{1}{2} \rho f V^2 \quad (11)$$

که f' ضریب بی بعد رابطه است که به ضریب داریسی و ایسباخ معروف است حال

اگر دو رابطه (۱۰) و (۱۱) را با هم مساوی قرار دهیم خواهیم داشت:

$$\left. \begin{aligned} \tau_0 &= \frac{A \rho g h_f}{P_t L} \\ \tau_0 &= -\frac{1}{2} \rho f V^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{A \rho g h_f}{P_t L} = -\frac{1}{2} \rho f V^2 \Rightarrow R_H \rho g h_f = -\frac{1}{2} \rho f V^2 L \Rightarrow h_f = \frac{f L V^2}{R_H 2g}$$

$$h_f = \frac{f L V^2}{R_h 2g} \quad (12)$$

که R_h همان $\frac{A}{P_t}$ است و شعاع هیدرولیکی نام دارد برای لوله ها داریم:

$$R_h = \frac{\pi D^2 / 4}{\pi D} = \frac{D}{4}$$

$$h_f = \frac{\left(\frac{f}{4}\right) L V^2}{\left(\frac{D}{4}\right) 2g} \rightarrow h_f = \frac{f L V_1^2}{D 2g} \quad (13)$$

در این رابطه D قطر لوله است و $f = 4f'$ همان ضریب دارسی و ایسباخ است بعد

h_f نیوتن - متر بر نیوتن است (یعنی همان بعد طول) می باشد f که در حقیقت ضریب

اصطکاک است باید با آزمایش تعیین شود مجموع آزمایشات و نتایج به دست آمده برای f

در نموداری با نام نمودار مودی جمع آوری شده است که این نمودار در شکل ۳ آمده

است.

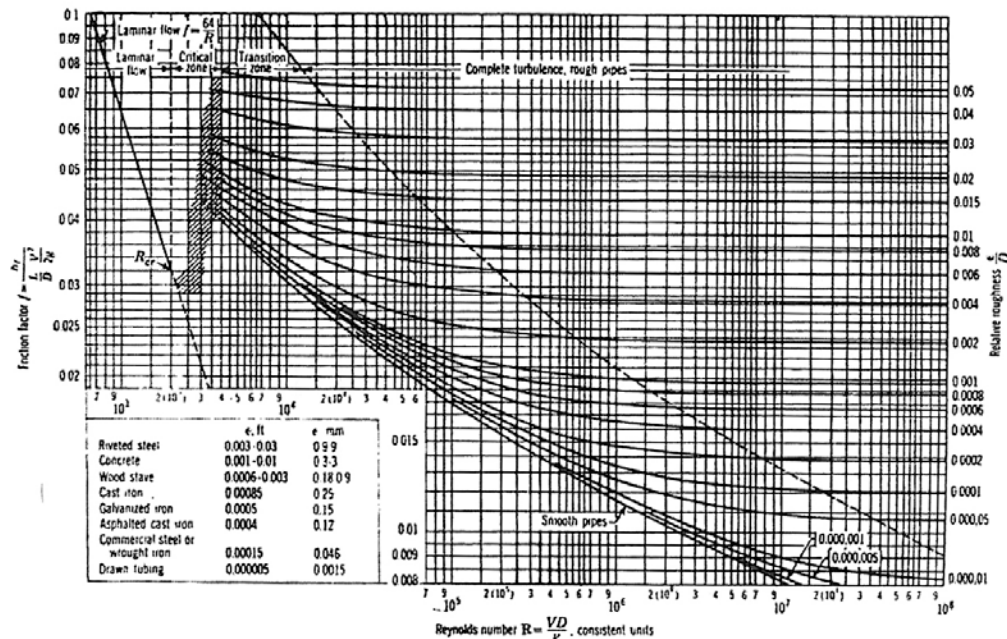


Figure 5.32 Moody diagram.

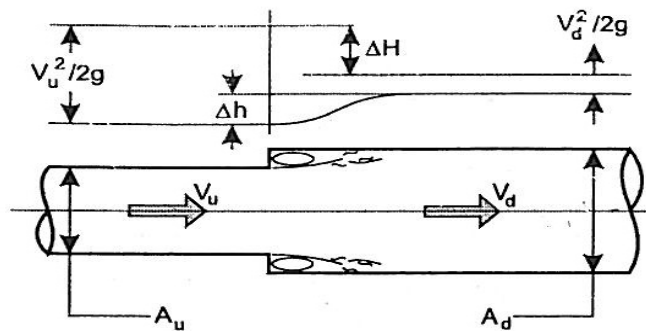
شکل ۳- نمودار مودی

ب) افت هد فرعی (موضعی) (h_e)

تلفاتی را که به علت وجود خم ها، زانوئی ها، اتصالات، شیرها و غیره در خطوط لوله ایجاد می شوند تلفات موضعی می گوئیم. که ما در این آزمایش انبساط یا انقباض ناگهانی و وجود زانوئی ها را به صورت مجزا مورد بررسی قرار می دهیم.

ب-۱) تلفات ناشی از انبساط ناگهانی

در انبساط ناگهانی همان گونه که در شکل زیر دیده می شود سطح مقطع به طور ناگهانی افزایش می یابد و افت هد فرعی (h_e) از رابطه زیر به دست می آید.

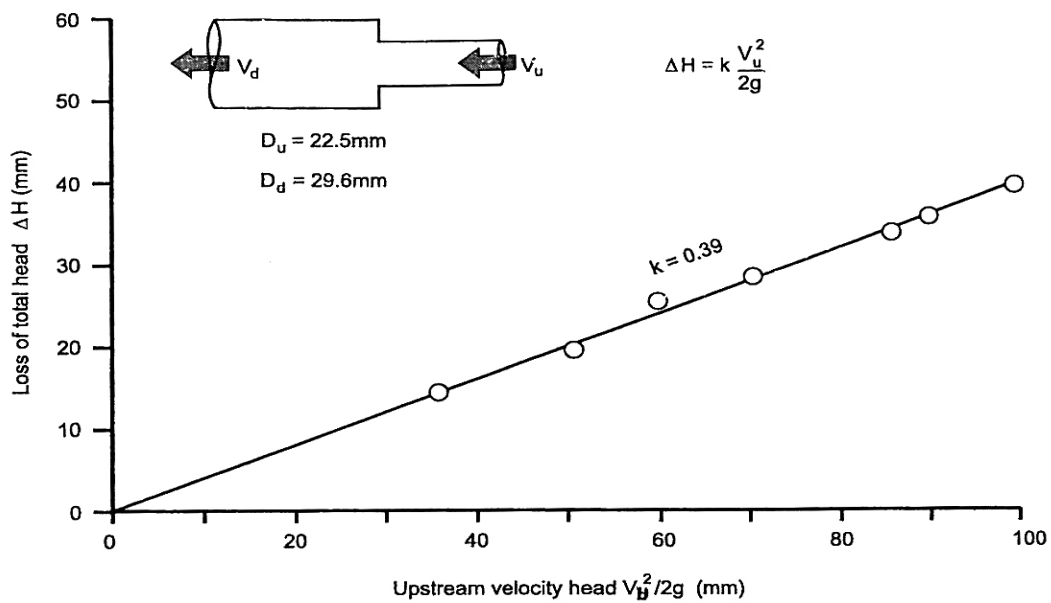


شکل ۴- انبساط ناگهانی

$$\Delta H = \frac{(V_u - V_d)^2}{2g}$$

$$h_e = K_e \frac{V_u^2}{2g} = \left[1 - \left(\frac{D_u}{D_d} \right)^2 \right]^2 \frac{V_u^2}{2g} = \frac{(V_u - V_d)^2}{2g}$$

$$K_e = \left[1 - \frac{A_u}{A_d} \right]^2 = \left[1 - \left(\frac{d_u}{d_d} \right)^2 \right]^2$$



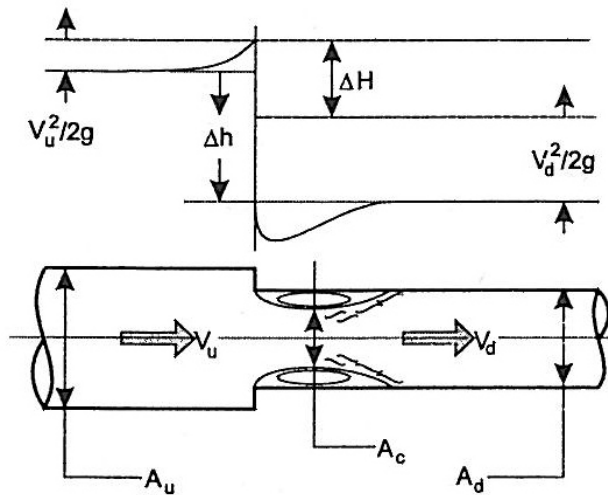
گراف ۱- افت کلی هد در انقباض ناگهانی

ب- ۲) تلفات ناشی از انقباض ناگهانی

در انقباض ناگهانی همان گونه که در شکل زیر دیده می شود.

سطح مقطع به طور ناگهانی کاهش می یابد و افت هد فرعی از رابطه زیر به دست

می آید.



شکل ۵- انقباض ناگهانی

$$\Delta H = \frac{(V_c - V_d)^2}{2g}$$

$$h_c = k_c \frac{V_d^2}{2g} = \left(\frac{1}{c_c} - 1 \right)^2 \frac{V_d^2}{2g} = \frac{(V_c - V_d)^2}{2g}$$

$$k_c = \left(\frac{A_d}{A_c} - 1 \right)^2 = \left(\frac{1}{c_c} - 1 \right)^2$$

ضریب $c_c = \frac{A_c}{A_d}$ را ضریب انقباض و k_c ضریب افت است در انقباض ناگهانی شکل فوق

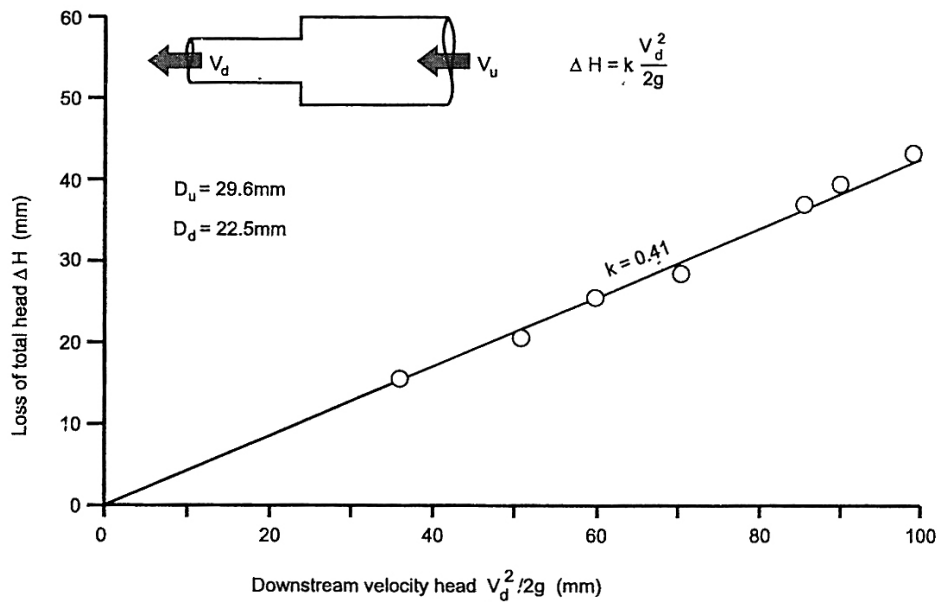
ضریب k_c تابع نسبت سطح $\left(\frac{A_d}{A_u} \right)$ است و برای سهولت در انجام محاسبات به جای استفاده

از فرمول، می توان از جدول زیر استفاده نمود.

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| A_d/A_u | ۰ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۴ | ۰/۵ | ۰/۶ | ۰/۷ | ۰/۸ | ۰/۹ | ۱ |
| k_c | ۰/۵ | ۰/۴۶ | ۰/۴۱ | ۰/۳۹ | ۰/۳۶ | ۰/۳۳ | ۰/۲۸ | ۰/۲۲ | ۰/۱۵ | ۰/۰۶ | ۰ |

در این دستگاه با توجه به جنس لوله ها مقدار $k_c = 0.41$ خواهد شد و از جدول فوق

تبعیت نمی کند.



گراف ۲- افت کلی هدر در انقباض ناگهانی

ب-۳) تلفات در زانویی ها

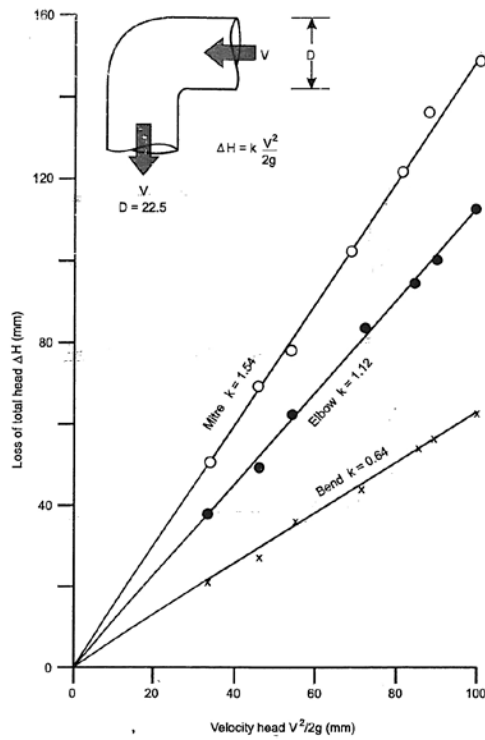
تلفات در خم ها نیز همانند انقباض ناگهانی از فرمول زیر به دست می آید.

$$h_e = K \frac{V^2}{2g}$$

ضریب k در خم تابع نسبت شعاع خم به شعاع لوله و زاویه خم است و برای سه نوع

زانو در جدول زیر آمده است.

| نوع زانو ۹۰ درجه | حدود ضریب افت |
|--------------------------|---------------|
| زانو با خم تیز | ۱/۴-۱/۶ |
| زانویی معمولی | ۱/۱-۱/۴ |
| زانو با شعاع انحنای بزرگ | ۰/۲-۰/۸ |



گراف ۳- افت کلی هد در زانویی ۹۰ درجه با شعاع های انحنای متفاوت

۳- وسایل مورد نیاز

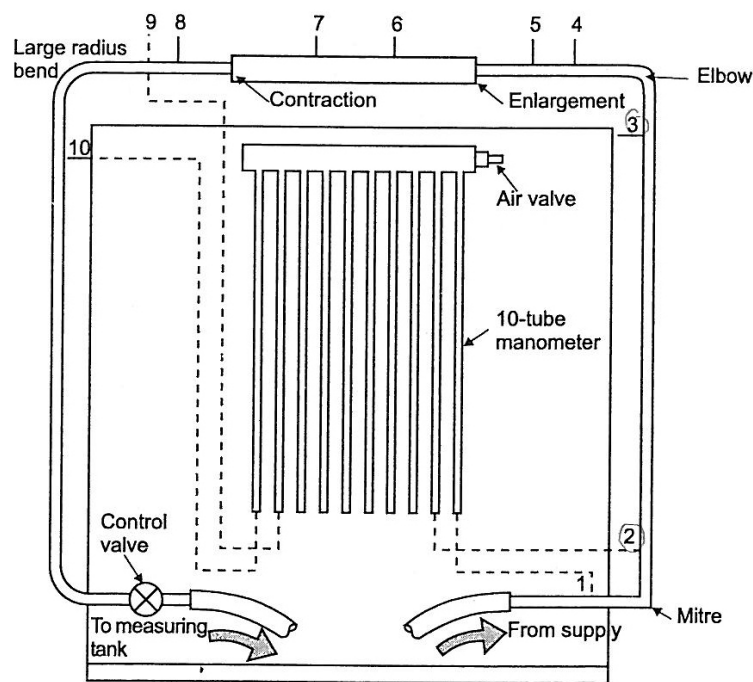
میز هیدرولیکی، زمان سنج، دستگاه اصلی



شکل ۶- نمای دستگاه افت و اصطکاک

۴- شرح دستگاه

وسیله نشان داده شده در تصویر (۷) مجموعه ای از لوله ها است. این لوله ها که از مواد پلاستیکی صلب ساخته شده است. به طور عمودی عمودی روی صفحه ای نگه داشته شده اند. آب از یک مخزن هیدرولیکی به درون سیستم تغذیه می شود و از سمت دیگر مخزن متعادل کننده خارج می شود. اطلاعات مربوط به اجزا مختلف مدار لوله کشی در جدول زیر نشان داده شده است.



شکل ۷- تصویر شماتیک دستگاه

| شماره مانومترهای متصل به آن | مشخصات هندسی | نوع وسیله |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| ۱-۲ | - | زانویی ۹۰ درجه تند |
| ۲-۳ | به قطر ۲۲/۵ | لوله مستقیم |
| ۳-۴ | به شعاع ۱۲/۵ | زانویی ۹۰ درجه استاندارد |
| ۵-۶ | از قطر ۲۲/۵ به قطر ۲۹/۶ | انبساط ناگهانی |

| | | |
|------|-------------------------|-------------------|
| ۷-۸ | از قطر ۲۹/۶ به قطر ۲۲/۵ | انقباض ناگهانی |
| ۹-۱۰ | به شعاع ۵۳/۴ | زانو با شعاع زیاد |

پیزومترهای ضربه ای در طولای مشخصی از هر چهار قطر موجود لوله در دیواره لوله ها تعبیه شده است این پیزومترها در بالا دست و پایین دست اتصالات قرار دارند این پیزومترها به یک سری مانومتر که از لوله های لاستیکی هستند متصل شده است که میتوان در این مانومترها توسط یک تلمبه دستی فشار را افزایش داد. این سیستم می تواند از هوا خالی شود بدین صورت که از مانومتر هوا را خارج کرد. همچنین با تنظیم شیر هوای قرار گرفته در کنار خروجی لوله ها می توان مقادیر متفاوتی از شدت جریان را به وجود آورد.

۵- نحوه انجام آزمایش

۵-۱- مشخصات لوله و اتصالات را یادداشت کنید (طول لوله - زبری - نوع

اتصالات)

۵-۲- پمپ را روشن کرده و اجازه دهید که جریان درون لوله ها را دایمی شود.

۵-۳- وزنه ۸kg را روی کفه وزنه قرار داده، اهرم را آزاد کرده و جهت اندازه گیری

زمان همزمان استارت کرنومتر را می زنیم.

۵-۴- و همزمان با به تعادل رسیدن وزنه ها زمان را نگه داشته و در جدول ثبت کنید.

۵-۵- سپس دبی را کم کرده و دوباره مرحله ۳ و ۴ را تکرار کنید تا هنگامی که زمان

به ۶۰ ثانیه برسد.

۵-۶- سپس مراحل ۳ تا ۵ را با وزنه های ۶kg و ۴kg ادامه دهید، دبی و زمان را برای

هر مرحله در جدول ثبت کنید.

۶- محاسبات و تحلیل نتایج

افت کلی و تفاوت قرائت پیرومتر

اگر مقدار اندازه گیری شده جریان Q باشد انگاه سرعت های V_u و V_d در لوله هایی با

صعود سطوح مقطع A_u و A_d (m^2) خواهد بود.

$$V_u = 10^{-3} \frac{Q}{A_u} (m/s) \quad , \quad V_d = 10^{-3} \frac{q}{A_d} (m/s)$$

قرائت های آزمایش در جدول شماره ۱ ثبت می شود (توجه داشته باشید که قرائت

های مربوط به افزایش قطر منفی است)

جدول ۱

| Quantity (kg) | Time (s) | Q (kg/s) | Differential Piezometer Reading (mm) | | | | |
|---------------|----------|----------|--------------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------|
| | | | Mitre 1-2 | Elbow 3-4 | Enlargement 5-6 | Contraction 7-8 | Bend 9-10 |
| 24 | 43.3 | 0.554 | 154 | 113 | -28 | 109 | 62 |
| 24 | 45.8 | 0.524 | 148 | 102 | -26 | 100 | 58 |
| 24 | 46.7 | 0.514 | 126 | 93 | -25 | 89 | 55 |
| 12 | 26.0 | 0.462 | 104 | 77 | -19 | 71 | 45 |
| 12 | 28.1 | 0.427 | 90 | 64 | -12 | 63 | 39 |
| 12 | 30.6 | 0.392 | 75 | 58 | -14 | 52 | 28 |
| 12 | 36.5 | 0.329 | 53 | 40 | -10 | 36 | 22 |

سرعت ها و هدهای سرعت ثانویه برای هر شدت جریان در قطر کوچکتر و بزرگتر

لوله با محاسبات به دست می آید. محاسبات به شکل زیر مرتب شده اند (مقادیر بر حسب

$D_u = 22/5mm$ و $D_d = 29/6mm$ حساب شده اند).

توجه داشته باشید در مورد افزایش قطر لوله و انقباض لوله به تنهایی همانطور که در معادله نشان داده شده، افت کلی هد با اختلاف قرائت پیژومترها متفاوت است برای مثال در مورد افزایش قطر ناگهانی در جدول چنین آورده شده است.

$$\Delta h = -28mm \quad (\text{نشان دهنده افزایش هر پیژومتریک})$$

$$\frac{V_u^2}{2g} = 99mm \quad (\text{هد سرعت در لوله بالا دست قطر کوچکتر})$$

$$\frac{V_d^2}{2g} = 33mm \quad (\text{هد سرعت در لوله پایین دست قطر بزرگتر})$$

بنابراین:

$$\Delta H = \Delta h + \frac{V_u^2}{2g} - \frac{V_d^2}{2g} = -28 + 99 - 33 = 38mm$$

محاسبه k ضریب افت:

برای به دست آوردن ضریب افت هد اتصال مقادیر کلی افت هد نشان داده شده در

جدول (۲) برخلاف مقادیر هر سرعت $\frac{V_u^2}{2g}$ به دست آمده اند که این مقادیر هد سرعت در

قطر کوچکتر لوله می باشد برای هر اتصال به غیر از کاهش قطر ناگهانی $\frac{V_u^2}{2g}$ هر سرعت در

لوله بالادست را به ما می دهد و تا حد زیادی با تعریف k مطابقت دارد.

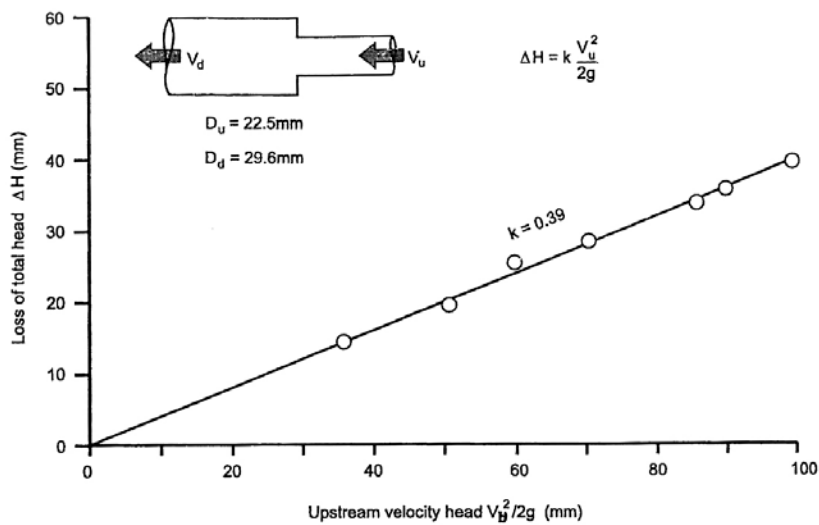
برای حالت کاهش قطر $\frac{V_u^2}{2g}$ به ما هر سرعت در لوله پایین دست را می دهد، که این

هم با تعریف k مطابق است. همانطور که در گراف های ۱ و ۲ و ۳ نشان داده شده شیب

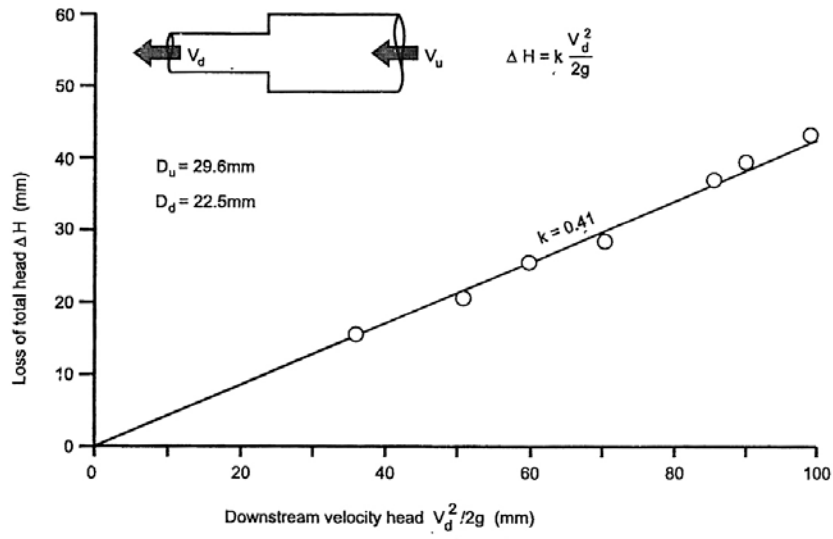
خطوط نسبت به مبدا مقدار k را برای هر اتصال مشخص می کند.

جدول ۲

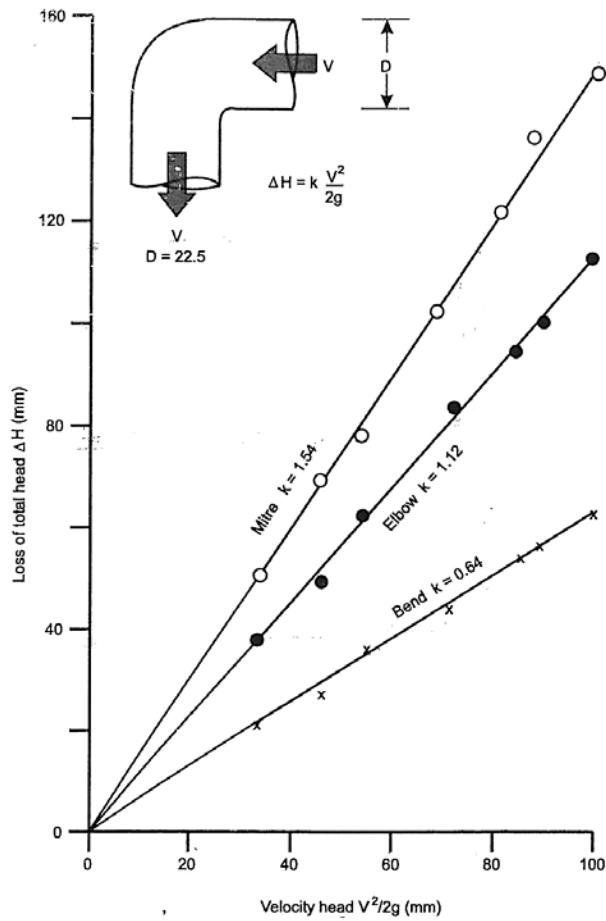
| Q | V ₁ | V ₂ | $\frac{V_1^2}{2g}$ | $\frac{V_2^2}{2g}$ | Loss of Total Head (mm) | | | | |
|--------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|-------------------------|-------|-------------|-------------|------|
| | | | | | Mitre | Elbow | Enlargement | Contraction | Bend |
| (kg/s) | (m/s) | (m/s) | (mm) | (mm) | (1-2) | 3-4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 |
| 0.554 | 1.394 | 0.806 | 99 | 33 | 154 | 113 | 38 | 43 | 62 |
| 0.524 | 1.318 | 0.762 | 89 | 30 | 148 | 102 | 33 | 41 | 58 |
| 0.514 | 1.293 | 0.747 | 85 | 28 | 126 | 93 | 32 | 32 | 55 |
| 0.462 | 1.161 | 0.671 | 69 | 23 | 104 | 77 | 27 | 25 | 45 |
| 0.427 | 1.074 | 0.621 | 59 | 20 | 90 | 64 | 27 | 24 | 39 |
| 0.392 | 0.986 | 0.570 | 50 | 17 | 75 | 58 | 19 | 19 | 28 |
| 0.329 | 0.827 | 0.478 | 35 | 12 | 53 | 40 | 13 | 13 | 22 |



گراف ۱- افت کلی هدر در انبساط ناگهانی



گراف ۲- افت کلی هد در انقباض ناگهانی



گراف ۳- افت کلی هد در زانوی ۹۰ درجه با شعاع های انحنای متفاوت

۷- سوالات

۷-۱- اگر از مایعی با لزجت بیشتر و کمتر از آب استفاده می شد آیا اختلاف سطح

سیال در پیزومترها تغییر می کرد. توضیح دهید.

۷-۲- چرا در پیزومترها ارتفاع ستون آب برابر با $\frac{P}{\gamma}$ است؟

۷-۳- چرا در تغییر قطرها و اتصالات افت هد کلی برابر با افت هد موضعی است؟

۷-۴- کهنگی لوله ها چه تاثیری بر روند آزمایش دارد؟

آزمایش شماره ۴۵

«عدد رینولدز»

«عدد رینولدز»

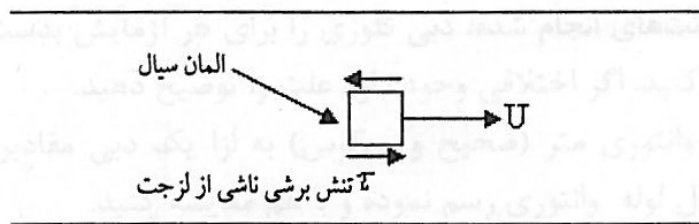
۱- هدف

حالت جریان ممکن است به صورت آرام یا آشفته یا بینابین باشد. در یک جریان آرام المان ها در راستای خطوط جریان حرکت می کنند و در امتداد این خطوط قابل تعقیب هستند در یک جریان آشفته المان ها ضمن حرکت در مسیر جریان دارای پرش و انحراف از مسیر اصلی خود می باشند و یا به عبارتی المان ها در قالب بسته هایی از سیال می چرخند و به سمت پایین است پیش می رود. در یک جریان اشفته به علت ایجاد پدیده اختلاط شدید که حاصل چرخیدن و حرکت المان ها به همه طرف می باشد، تنش برشی بین لایه ها از حالت ورقه ای (آرام) بسیار بیشتر و شدیدتر است هدف از این آزمایش نحوه تشخیص جریان ورقه ای (آرام) از آشفته می باشد.

تئوری

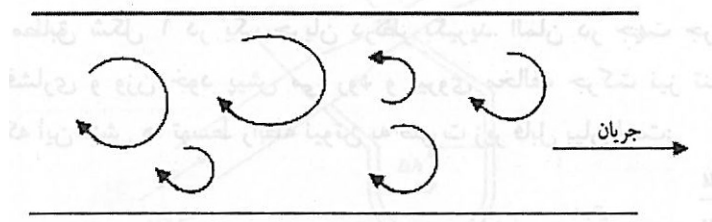
المان را مطابق شکل (۱) جریان در نظر بگیرید. المان در جهت جریان تحت نیروی فشاری و وزن خود پیش می رود و نیروی مخالف حرکت نیز تنش برشی می باشد که این تنش ها توسط رابطه نیوتن به صورت زیر قابل بیان است:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$



شکل ۱- یک المان سیال در مسیر جریان

که μ از جت دینامیکی سیال، u سرعت المان و y فاصله از جداره می باشد اگر هر گونه اختلاطی در مسیر حرکت این المان به وجود آید، این المان از مسیر خود منحرف می گردد، اختلال ممکن است از بالا دست همراه المان به جریان وارد شده باشد مثلاً جریان ورودی کاملاً در جهت محور حرکت نباشد و یا ممکن است به علت ناهمواری جداره های مجرا و یا لرزش آن ایجاد شود، انحراف المان از مسیر خود به آن مسیر طولانی تر و پیچ و خم تحمیل می کند که در نتیجه نیروی برشی بیشتری نیز بر المان وارد خواهد شد اگر برآیند نیروهای وارد بر المان یا همان نیروی اینرسی نتواند بر نیروی برشی غلبه کند المان قادر به ادامه مسیر خود در راه طولانی تر نبوده دوباره به مسیر خود بر می گردد از طرفی اگر نیروی اینرسی المان بسیار زیاد باشد بر نیروی لزجت غلبه کرده المان راه پیچ دار و دارای چرخش را طی می کند هنگامی که المان از جای خود خارج شود مسلماً جای آنرا المان دیگری پر می کند و با جابجا شدن المان کل ذرات سیال مسیرهایی دارای پیچ و چرخش را دنبال می کند (شکل ۲).



شکل ۲- جریان آشفته

بسته های سیال به این ترتیب می چرخند و به شکل گردابه هایی به پایین دست حرکت می کنند این گردابه ها در اثر اندرکنش با یکدیگر تغییر شکل داده به طور مرتب تشکیل شده و از بین می رود در این حالت حرکت جریان آشفته است. در چنین حالتی تنش بین لایه های سیال در اثر چرخش های موجود به شدت افزایش یافته و در نتیجه اتلاف انرژی نیز بسیار زیاد می شود. آزمون رینولدز برای تشخیص جریان آرام از آشفته عدد بی بعدی را معرفی کرد که به نام خود وی به نام عدد رینولدز معروف شد این عدد بی بعد نسبت نیروهای اینرسی به نیروهای حاصل از جت به شکل زیر است:

$$Re = \frac{\text{نیروهای اینرسی}}{\text{نیروهای حاصل از لزجت}} = \frac{PQV}{\mu A \frac{V}{Y}}$$

که در این رابطه Q دبی جریان، ρ چگالی سیال، V سرعت متوسط جریان، $\frac{V}{Y}$ نشان

دهنده ی گرادیان موجود در سرعت جریان، A سطح مقطع جریان و μ لزجت دینامیکی

جریان می باشد. اگر رابطه بالا را ساده کنیم خواهیم داشت:

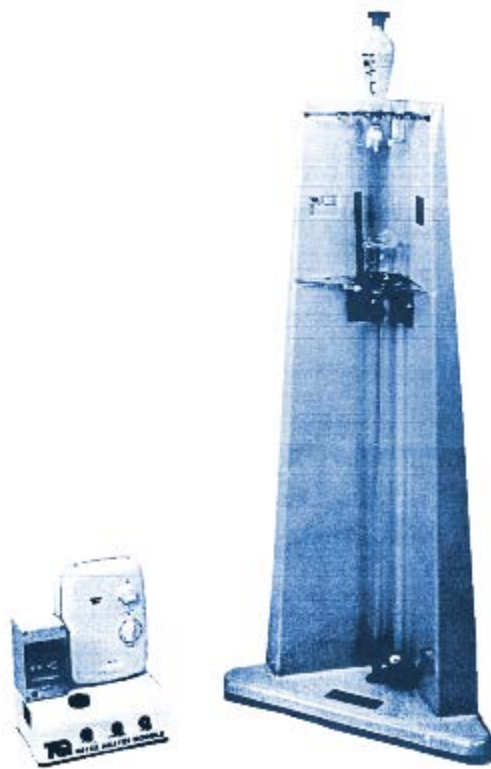
$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$$

که $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ همان لزجت سینماتیکی است.

رینولدز برای نشان دادن مفهوم پارامتر بی بعد فوق، آزمایش هایی با تزریق رنگ در جریان آب در لوله های شیشه ای انجام داد. با انجام آزمایش دیده می شود که در دبی های کم رنگ به صورت یک خط مستقیم در لوله حرکت می کند، حرکت متقسم رنگ حاکی از آن است که جریان لایه ای می باشد اگر شیر را تدریجا باز کرده دبی و در نتیجه سرعت را افزایش دهیم به وضعیتی می رسیم که مسیر مستقیم رنگ موج شده و سپس در دبی های بالاتر گسیخته شده و پخش می شود. رینولدز توانست با کاهش اختلاف تا $Re = 12000$ جریان لایه ای را نگه دارد و بعدا محققان موفق شدند تا $Re = 40000$ جریان را به صورت لایه ای حفظ کنند. اعداد فوق به نام حد بالایی عدد رینولدز بحرانی موسومند و در عمل اهمیتی ندارند. زیرا در تاسیسات لوله کشی معمولا بی نظمی هایی وجود دارند که باعث می شوند جریان در اعداد رینولدز بسیار کمتری آشفته شود. رینولدز روند آزمایش را معکوس کرد از جریان آشفته شروع کرده و به تدریج با بستن شیر، سرعت را کاهش داد. در این آزمایش مشخص شد که همواره جریان هنگامی لایه ای می شود که رینولدز از 2000 کمتر شود. این عدد رینولدز بحرانی برای جریان در لوله هاست و از نظر علمی حائز اهمیت است. جریان در حالت عادی از عدد رینولدز حدود 4000 به بالا به آشفته تبدیل می شود محدوده بین 2000 الی 4000 را محدوده انتقالی می نامند.

۳- وسایل مورد نیاز

دستگاه رینولدز، مدول کنترل حرارت (هیتر)، رنگ، آب، کرنومتر



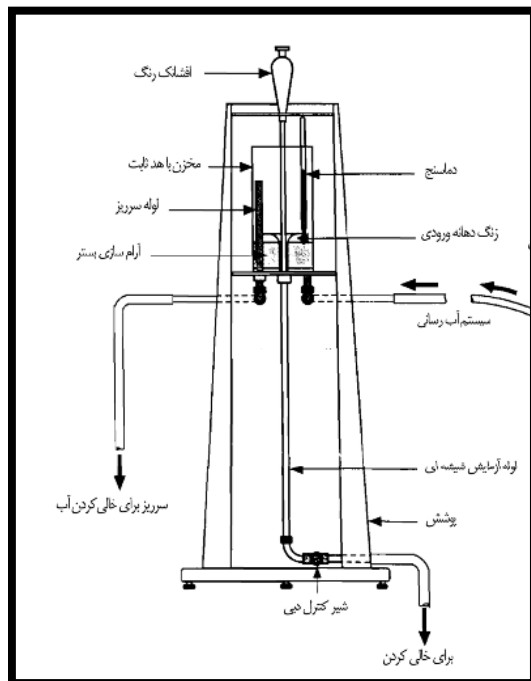
شکل ۳- نمای کلی دستگاه رینولدز و مدول کنترل حرارت

۴- شرح دستگاه

شکل (۴) عدد رینولدز و ابزار جریان انتقالی یا مدول کنترل حرارت را نشان می دهد. این نکته باید ذکر شود که مدول کنترل حرارت یک ابزار کمکی انتخابی است که به عنوان تجهیزات استاندارد عرضه نمی شود. ابزار اصلی از یک دهانه لوله ی شیشه ای دقیق با قطر داخلی ۱۲ میلی متر که توسط پوشش از مواد ضد رنگ حمایت شده تشکیل می شود.

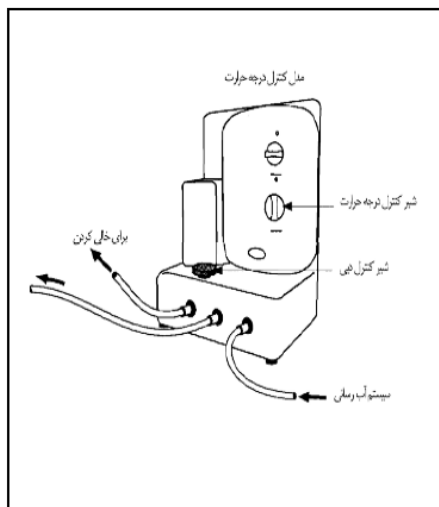
پوشش برای دیدن جریان به رنگ روشن است در قسمت بالای این لوله یک استوانه قرار دارد، در قسمت راست داخل استوانه یک دماسنج جهت اندازه گیری دمای آب وجود دارد، پس از ورود آب به داخل استوانه مقادیری بلور شیشه ای در کف استوانه است که آب از میان آنها عبور کرده و سبب می شود که آب به صورت آرام جریان پیدا کند سپس آب از طریق پخش کننده ای که در زیر دهانه زنگوله مانند جایگذاری شده به درون لوله هدایت می شود و در مرکز این هدایت کننده میله متصل به افشانک جهت ورود رنگ می باشد. چون در هر مرحله این آزمایش با دبی ثابت انجام می گیرد لذا باید فشار آب ثابت باشد جهت این امر یک لوله سرریز درون استوانه تعبیه شده است.

پس از عبور آب از مسیر لوله، توسط شیر کنترل دبی، آب به درون یک استوانه مدرج ریخته و جهت محاسبه حجم آب خروجی استفاده می شود همچنین زمان را برای یک حجم پر شده استوانه توسط کرنومتر ثبت می کنیم تا بتوانیم دبی را در هر مرحله به دست آوریم. تمام ابزار بر روی یک تکیه گاه سه گوش با یک پایه مناسب حمایت می شود.



شکل ۴

مدول کنترل حرارت (شکل ۵) یک بخش ساده مجزا که می تواند جهت گرم کردن آب و کنترل حرارت و همچنین برای تغییر لزجت آب، برای توزیع به ابزار اتصال یابد. آب گرم شده از طریق یک خروجی عبور می کند. اگر نیاز شد، آب اضافی می تواند جهت تخلیه از طریق سرپوش کنترل جریان که بر روی مدول کار گذاشته شده، استفاده نمود. این سرپوش برای کنترل بهتر جریان در دستگاه بدون تاثیر بر روی درجه حرارت آب است.



شکل ۵

اخطار

۱- توزیع کننده الکتریکی را برای این دستگاه از طریق یک سوئیچ یا قطع کننده مدار وصل کنید این دستگاه باید به زمین متصل شود.

۲- بخش هیتر به میزان ۳۲ آمپر است ، تنها دستگاه را از طریق کابل توزیع شده وصل کنید.

نکته

۱- توزیع آب سرد برای هیتر باید درجه ای بیشتر از ۱bar داشته باشد در غیر این صورت دستگاه عمل نخواهد کرد.

۲- در این بخش به غیر از آب از هیچ مایع دیگری نباید استفاده شود.

۳- آب در میان هیتر جریان پیدا نمی کند مگر اینکه توزیع کننده الکتریکی متصل

باشد.

۵- شرح آزمایش

۵-۱- دستگاه را به گونه ای که قبلا توضیح داده شده تنظیم کنید.

۵-۲- مخزن کوچک را از رنگ پر کنید.

۵-۳- جریان را برقرار کرده تا زمانی که استوانه تا لبه سرریز پر شود.

۵-۴- شیر کنترل جریان (شیر تخلیه) را اندکی باز کنید.

۵-۵- شیر مخزن رنگ را کم کم باز کنید تا جریان آب با رنگ به آهستگی به هم

برسند.

۵-۶- حجم جریان را توسط یک استوانه مدرج و در زمان مشخصه اندازه گیری نماید

و یا به عبارتی دبی جریان را اندازه گیری نمایید.

۵-۷- شیر تخلیه را جهت دبی های بیشتر، باز نموده، با این هدف که آزمایش را برای

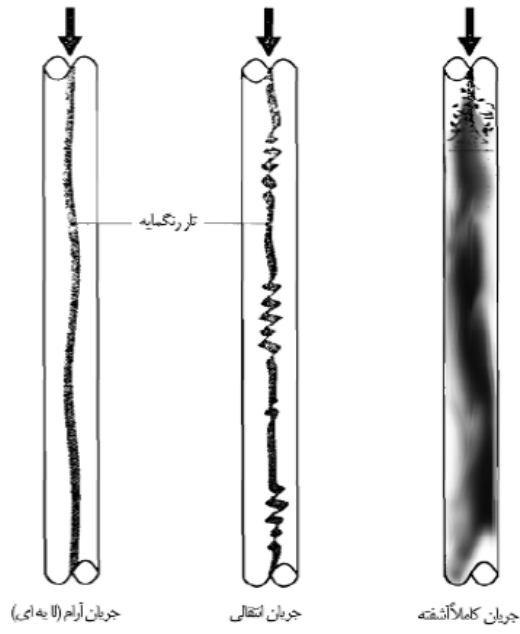
دبی های متفاوتی انجام دهید. در واقع با افزایش دبی عدد رینولدز را زیاد کرده ایم زیرا ρ و

μ و D ثابتند و V با دبی تناسب مستقیم دارد.

۵-۸- افزایش دبی را تا جایی که جریان کاملا آشفته شود ادامه دهید و دبی را

یادداشت کنید. سپس دبی را به صورت مرحله ای کاهش دهید و در هر مرحله دبی را اندازه

گیری نمایید. کاهش دبی را تا جایی که جریان لایه ای شود ادامه دهید.



۶- محاسبات و تحلیل نتایج

مقادیر و نتایج به دست آمده از آزمایش را در جدول زیر ثبت کرده سپس با توجه به

حجم (V) و زمان (t) برای هر مرحله دبی را بدست آورده و از دبی، سرعت جریان را

محاسبه کنید حال با استفاده از فرمول $\left(Re = \frac{VD}{\nu} \right)$ عدد رینولدز مربوط به هر دبی را به

دست آورید و در آخر با مقادیر زیر مقایسه می کنیم.

if $Re < 500$ جریان لایه ای

if $500 < Re < 2000$ جریان انتقالی

if $Re > 2000$ جریان جریان آشفته

افزایش دبی

| ردیف | T °C | ∇ lit | t sec | Q (Lit / sec) | V (m / sec) | Re | Condision نوع جریان |
|------|---------|-----------------|----------|------------------|----------------|----|------------------------|
| | | | | | | | |

کاهش دبی

| ردیف | T °C | ∇ lit | t sec | Q (Lit / sec) | V (m / sec) | Re | Condision نوع جریان |
|------|---------|-----------------|----------|------------------|----------------|----|------------------------|
| | | | | | | | |

۷- سوالات

۷-۱- چه عواملی روی حد پایینی و حد بالایی عد رینولدز تاثیر دارد؟

۷-۲- در مقایسه با مکانیزم تشکیل تنش های نیوتنی توضیح دهید که چرا با چرخش

گردابه ها تنش های برشی در حالت جریان آشفته به شدت زیاد می شوند؟

۷-۳- اگر در داخل جریان ذرات معلق با چگالی بیشتر از سیال تزریق شود در تبدیل

جریان از ورقه ای به آشفته چه تفاوتی ایجاد می گردد؟

۷-۴- به نظر شما چه روشی برای اندازه گیری قطر لوله مناسب است؟

آزمایش شماره ۵

«جریان یکنواخت در کانالهای باز»

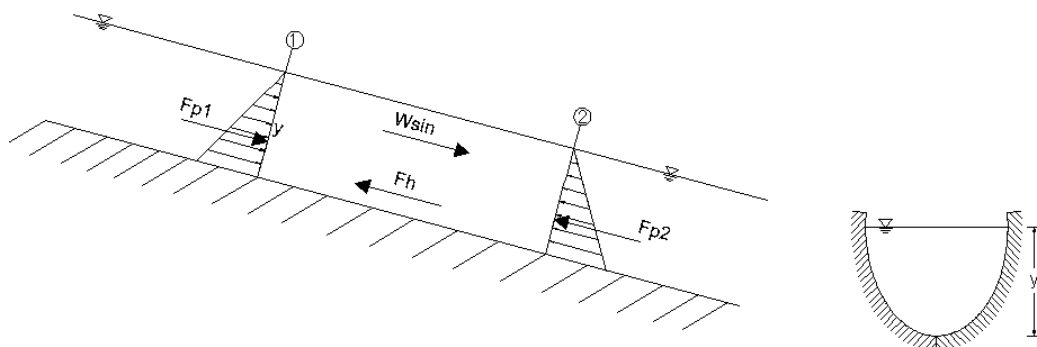
« جریان یکنواخت در کانالهای باز »

۱- هدف

جریان در کانالهای باز دارای سطح آزاد بوده و تحت تأثیر وزن خود حرکت می کند. آبراهه ها دارای انواع مختلفی، از جمله طبیعی مثل رودخانه ها و کانالهای ساخت بشر می باشند. کانالها ممکن است به منظور انتقال آب برای مصارف شهری، تولید نیرو، آبیاری و زهکشی، کنترل سیلاب و اهداف متعدد دیگر ساخته شوند هدف از این آزمایش بررسی معادلات جریان یکنواخت در کانالهای باز می باشد

۲- تئوری

در حرکت یک سیال اگر مشخصه های سیال (عمق y ، دبی Q ، سرعت V) در طول حرکت ثابت باشد چنین حرکتی یکنواخت نام دارد شکل (۱) را در نظر بگیرید فرض کنید که یک جریان یکنواخت در کانال منشوری و با مقطع دلخواه برقرار باشد.



شکل ۱- جریان در یک کانال روباز

با بکاربردن معادله انداز حرکت (ممتوم) بین دو مقطع او ۲ خواهیم داشت :

$$F_{p1} - F_{p2} - F_f + W \sin \theta = PQ(\beta_2 V_2 - \beta_1 V_1) \quad (1)$$

که F_p نیروی فشاری، F_f نیروی اصطکاک، V سرعت جریان، W وزن سیال بین دو مقطع او ۲، θ زاویه شیب، P چگالی سیال، Q دبی جریان و β ضریب تصحیح اندازه حرکت می باشد.

با فرض ثابت بودن خصوصیات جریان بین دو مقطع او ۲، $V_1 = V_2, F_{p1} = F_{p2}, \beta_1 = \beta_2$ ، می باشد و بنابراین معادله (۱) بصورت زیر ساده می شود.

$$F_f = W \sin \theta \quad (2)$$

که رابطه بالا نشان دهنده این است که نیرویهای ثقل و اصطکاک با هم مساوی می باشند از طرفی داریم

$$F_f = \tau_0 PL \quad (3)$$

$$w \sin \theta = \gamma AL \sin \theta \quad (4)$$

که τ تنش برش متوسط در بستر، A سطح مقطع، P میط تر شده، $\gamma = \rho g$ وزن مخصوص سیال و L طول بین دو مقطع می باشد. با جایگزینی روابط (۳ و ۴) در رابطه (۲) داریم :

$$\gamma AL \sin \theta = \tau_0 PL \Rightarrow \tau_0 = \frac{\gamma A}{p \sin \theta} \quad (5)$$

با توجه به اینکه شعاع هیدرولیکی جریان برابر است با $R = \frac{A}{p}$ در نتیجه تنش برش

متوسط وارد بر بستر آبراهه برابر است با :

$$\tau_0 = \gamma R \sin \theta = \gamma RS \quad (6)$$

که S شیب آبراهه است. از طرفی در یک جریان آشفته نقش برش متوسط وارد بر

کف با مجذور سرعت متناسب می باشد یعنی :

$$\tau_0 = KV^2 \quad (7)$$

با مساوی قرار دادن دو رابطه (۷ و ۶) داریم :

$$KV^2 = \gamma RS \Rightarrow V = \left(\sqrt{\frac{\rho g}{k}}\right) \sqrt{RS} \quad (8)$$

که اگر در رابطه (۸) مقدار $\left(\sqrt{\frac{\rho g}{k}}\right)$ را برابر ثابت C قرار دهیم. مقدار سرعت بصورت

زیر در می آید :

$$V = C \sqrt{RS} \quad (9)$$

رابطه (۹) اولین بار توسط مهندس فرانسوی به نام شزی (chezy) به سال ۱۷۶۹ بکار

برده شده است و به نام خود وی، به فرمول شزی موسوم است. در این فرمول C ضریب

زبری شزی نامیده می شود و واحد آن $\frac{m^{1/2}}{s}$ است در سال ۱۸۸۹ یک مهندس ایرلندی به نام

مانینگ (Manning) نشان داد که ضریب شزی با $R^{1/6}$ رابطه مستقیم دارد $(c \propto R^{1/6})$ بعدها

نشان داده شد که ضریب این تناسب $\frac{1}{n}$ می باشد یعنی :

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (10)$$

که n ضریب زبری مانینگ می باشد. باید توجه داشت که ضریب زبری شزی با افزایش زبری کانال کاهش می یابد ولی ضریب زبری مانینگ با افزایش زبری افزایش می یابد از طرفی ضریب مانینگ نسبت به شزی به تغییرات عمق حساسیت بیشتری دارد.

در صورتی که رابطه (۱۰) در فرمول شزی قرار داده شود رابطه زیر بدست می آید که رابطه مانینگ معروف است:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

و یا:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (12)$$

در این رابطه فرض بر این است که ضریب مانینگ بی بعد است و این رابطه در سیستم متریک می باشد در سیستم واحد های دیگر لازم است ضریب تبدیل واحد محاسبه شده در معادله در نظر گرفته شود.

۳- وسایل مورد نیاز :

میزهیدرولیکی، زمان سنج، عمق سنج، فلوم آزمایشگاهی



شکل ۲- دستگاه آزمایش جریان

۴- شرح دستگاه

دستگاه تشکیل شده از یک کانال مستطیلی شکل از جنس پلاکسی گلاس به طول ۵m که در ارتفاع ۱,۵ m توسط دو پایه به صورت نسبتاً افقی قرار گرفته است همانطور که در شکل ۳ دیده می شود در یک طرف دستگاه مخزنی جهت انباشت آب وجود دارد که

قسمت خروجی مخزن به یک پمپ متصل است که جریان آب بعد از پمپ توسط یک لوله آب به ورودی کانال هدایت می شود، در ابتدای کانال تعداد ۳ صفحه مشبک قرار داد که جریان آب پس از برخورد و عبور از این صفحات از حالت متلاطم به آرام تبدیل می شود، جریان پس از عبور طول کانال توسط یک لوله که بصورت زانوی 90° در انتهای کانال قرار دارد به داخل محفظه میز هیدرولیکی ریخته و سپس به داخل مخزن منتقل می شود و مجدداً مسیر مذکور را طی می کند.



شکل ۳- دستگاه کانال باز

۵- نحوه انجام آزمایش

۵-۱- مخزن دستگاه را از آب پر کنید.

۵-۲- پمپ را روشن کرده و اجازه دهید که حداکثر دبی ممکن آب در داخل کانال

برقرار شود.

۵-۳- شیب کانال را تنظیم کنید و سپس عمق پایاب را به گونه ای تنظیم کنید که تا

عمق آب در سراسر کانال یکسان و جریان یکنواخت شود.

۵-۴- عمق آب را با عمق سنج اندازه گیری نمائید و در جدول یادداشت نمائید.

۵-۵- با اندازه گیری جرم جریان در زمان مشخص دبی جرمی را اندازه گیری نمائید.

(توسط میز هیدرولیکی)

۵-۶- سپس دبی جریان را تغییر داده، عمق پایاب را تغییر داده تا عمق آب در سراسر

کانال یکسان و جریان یکنواخت شود و سپس مراحل ۴ و ۵ را تکرار نمائید.

۵-۷- آزمایش را به ازای دبی های (1, 0.5, 0.3) انجام دهید.

۶- محاسبات و تحلیل نتایج

ابتدا پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه n و c را طی مراحل زیر بدست آورید.

$$S_o = \operatorname{tg} \theta = \frac{y_1 - y_2}{\Delta x} \quad \text{شیب کانال (Se):}$$

$$m^{\circ} = \frac{3m}{t} \quad \text{دبی جرمی (m^{\circ}):}$$

چگالی آب (ρ_w): با توجه به دمای آب از جداول سیالات استخراج می شود.

$$Q = \frac{m}{\rho_w} \quad \text{دبی حجمی (Q):}$$

عمق متوسط:

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| (X)cm فاصله از ابتدای کانال | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 |
| عمق آب (Y) cm | * | * | * | * | * | * | * | * | * |

با توجه به روند تغییرات عمق در طول کانال تعدادی از عمق ها را حذف و عمق

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} \quad \text{متوسط را با رابطه روبرو بدست می آوریم:}$$

$$A = by \quad \text{سطح متوسط (A):}$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{سرعت (V):}$$

$$P = b + 2y \quad \text{پیرامون تر شده (D):}$$

$$R = \frac{A}{P} \quad \text{شعاع هیدرولیکی (R):}$$

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad \text{ضریب مانینگ (n):}$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad \text{ضریب شزی (C):}$$

نتایج بدست آمده از محاسبات فوق را در جدول زیر ثبت نمائید.

جدول ۱- محاسبات مربوط به مشخصات جریان ورودی بستر صاف

| شماره ردیف | حجم آب (لیتر) V | زمان (ثانیه) t | دبی جریان (لیتر در ثانیه) Q | عمق آب (متر) Y | سرعت آب (متر در ثانیه) V | شعاع هیدرولیکی (متر) R | ضریب زبری مانینگ n | شزی C |
|------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------|
| ۱ | | | | | | | | |
| ۲ | | | | | | | | |
| ۳ | | | | | | | | |

حال مقادیر C, n بدست آمده از آزمایش (عملی) را با مقادیر تئوری موجود در جدول

ضریب مانینگ مقایسه نمایید.

۷- سوالات

۷-۱- در حالت بستر صاف فلوم به کمک دیاگرام مودی و استفاده از رابطه داریسی و

ایسباخ، سرعت متوسط جریان را حساب کرده و با مقادیر اندازه گیری شده مقایسه کنید.

۷-۲- روند تغییرات دبی (از دبی های کم تا دبی های خیلی زیاد) با شعاع هیدرولیکی

را تفسیر کنید.

۷-۳- عوامل موثر بر n, C را نام برده توضیح دهید.

۷-۴- با مقایسه رابطه داریسی و ایسباخ با رابطه مانینگ و شزی رابطه ای بین ضریب

داریسی و ایسباخ و ضرایب مانینگ و شزی بدست آورید.

آزمایش شماره ۶

«جریان زیر دریچه کشویی»

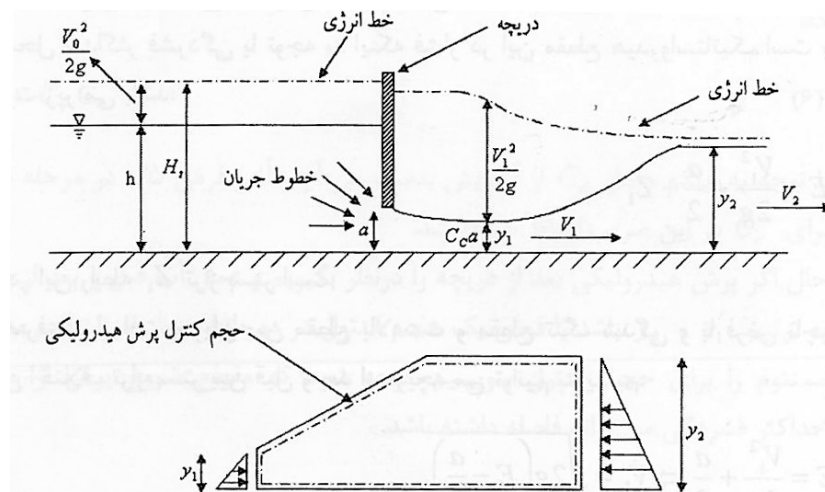
«جریان زیر دریچه کشویی»

۱- هدف

دریچه‌ها برای تنظیم دبی جریان در کانالها و تونلها استفاده می‌شوند دریچه کشویی از انواع بسیار معمول دریچه‌هاست که با بالا و پائین بردن آن در داخل جریان می‌توان سطح مقطع و در نتیجه مقدار عبور جریان را از آن تنظیم نمود. در این آزمایش هدف برآورد ضریب تخلیه دریچه کشویی در باز شدگی‌های کم می‌باشد. جریان در پائین دست دریچه فوق بحرانی بوده اگر شیب کانال ملایم باشد یک پرش هیدرولیکی در پایین دست دریچه اتفاق خواهد افتاد که در این آزمایش مطالعه می‌شود.

۲- تئوری

وضعیت جریان در عبور از یک دریچه کشویی در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۱- وضعیت جریان در عبور از زیر یک دریچه کشویی

به علت آنکه خطوط جریانی که از بالا به زیر دریچه می رسند دارای مؤلفه سرعت عمود بر جهت جریان هستند سطح آب پس از دریچه به طرف بستر حرکت کرده و جریان فشرده می شود این فشردگی تا محلی که به آن مقطع حداکثر فشردگی می گویند ادامه می یابد. تا این مقطع جریان تحت تأثیر مؤلفه های سرعت عمود بر جریان اصلی بوده و بنابراین توزیع فشار در طول فشردگی هیدرواستاتیک نیست از مقطع حداکثر فشردگی به سمت پائین دست جریان در جهت بستر کانال شکل گرفته و توزیع فشار نیز هیدرواستاتیک می باشد بدلیل فشردگی پس از دریچه عمق آب در محل حداکثر فشردگی از باز شدگی دریچه کمتر می باشد.

بصورتیکه می توان نوشت $y_1 = Cc \cdot a$ که Cc ضریب فشردگی می باشد میزان Cc به

شکل لبه دریچه، میزان باز شدگی دریچه و سرعت جریان در محل دریچه بستگی دارد و در

این مرحله Cc را عددی مثل k فرض می کنیم (k بین $0/5$ تا $0/7$)

انرژی جریان در مقطع بالا دست دریچه را می توانیم بصورت زیر بنویسیم :

$$E = h + \frac{V_1^2}{2g} + Z_0 \quad (1)$$

که در این رابطه Z_0, V_0, h به ترتیب عمق آب و سرعت آب و تراز سطح آب در بالا

دست دریچه و E انرژی جریان بالا دست می باشد. اگر k برابر $0/5$ فرض شود انرژی در

محل حداکثر فشردگی با توجه به اینکه فشار در این مقطع هیدرواستاتیک است به صورت

زیر می باشد :

$$E = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{a}{z} + Z_1$$

که در این رابطه Z_1 تراز بستر است.

با صرف نظر از افت جریان بین مقطع بالادست و مقطع تنگ شدگی و با فرض ناچیز

بودن اختلاف تراز بستر بین قبل و بعد از دریچه می توانیم بنویسیم :

$$E = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{a}{2} \Rightarrow V_1 = \sqrt{2g(E - \frac{a}{2})} \quad (2)$$

با توجه به اینکه از افت صرف نظر شده است در نتیجه سرعت واقعی کمتر از سرعت

بدست آمده می باشد در نتیجه خواهیم داشت :

$$V_a = C_v \sqrt{2g(E - \frac{a}{2})} \quad (3)$$

که V_a سرعت واقعی و C_v ضریب تصحیح سرعت به دلیل افت می باشد. و تابع عواملی است که افت را ایجاد می کنند مثل میزان بازشدگی دریاچه و یا حتی جنس دریاچه. در نتیجه دبی جریان از رابطه زیر بدست می آید:

$$Q = C_c . a . B . C_v \sqrt{2g(E - \frac{a}{2})}$$

که B عرض کانال، a بازشدگی دریاچه و C_c ضریب فشردگی است بنابراین می توان نوشت:

$$Q = C_d . a . B \sqrt{2g(E - \frac{a}{2})} \quad (5)$$

که:

$$C_d = C_v . C_c \quad (6)$$

با توجه به اینکه مقدار C_d از آزمایش بسدت می آید تأثیر فرض 0.5 در مرحله قبلی برای C_c در این ضریب لحاظ خواهد شد.

حال اگر پرش هیدرولیکی بعد از دریاچه را در نظر بگیریم و عمق آب قبل و بعد از پرش به ترتیب y_2, y_1 باشد با فرض یک حجم کنترل در دو طرف پرش می توانیم معادله ممنتوم را برای حجم کنترل بنویسیم. توجه شود که مقطع شروع پرش از مقطع حداکثر

فشرده‌گی می‌تواند فاصله داشته باشد در کانالهای باز با مقطع مستطیلی، ثابت ضریب بوزینسک تقریباً برابر ۱ می‌باشد.

$(\beta_1 = \beta_2) = 1$ و از طرفی اگر شیب کف کانال کم باشد $(\cos \theta \cong 1)$ ، با نوشتن معادله

ممتوم خواهیم داشت :

$$\frac{\sum F}{\gamma} = \left(\frac{Q^2}{gA_2} + \bar{y}_2 A_2 \right) - \left(\frac{Q^2}{gA_1} + \bar{y}_1' A_1 \right) \quad (7)$$

که در این رابطه $\sum F$ مجموع نیروهای وارد بر جرم آب (بجز نیروهای حاصل از فشار

هیدرواستاتیک) بین دو مقطع قرار گرفته در دو طرف حجم کنترل می‌باشد که مرکب از

نیروی اصطکاک و ثقل است :

$$\frac{\sum F}{\gamma} = \frac{W \sin \theta - F_f}{\gamma} \quad (8)$$

که در این رابطه W وزن آب داخل حجم کنترل و F_f اصطکاک بستر می‌باشند به

علت کوتاه بودن طول پرش از نیروی اصطکاک صرف نظر می‌شود و اگر شیب کم باشد

$\sin \theta = 0$ و لذا با استفاده از رابطه (۸) خواهیم داشت :

$$\frac{\sum F}{\gamma} = 0 \quad (9)$$

حال با توجه به اینکه یک کانال مستطیلی می‌باشد می‌توانیم بنویسیم :

$$\frac{Q^2}{gA} + \bar{y}A = \frac{q^2 B^2}{g y B} + \frac{1}{2} y^2 B \quad (10)$$

که در این رابطه q دبی در واحد کانال میباشد با در نظر گرفتن رابطه (۷) میتوانیم رابطه

زیر با بدست آوریم :

$$\frac{q^2}{gy_1 y_2} = \frac{1}{2}(y_1' + y_2) \quad (11)$$

همچنین با استفاده از رابطه پیوستگی خواهیم داشت :

$$q = V_1 y_1' = V_2 y_2 \quad (12)$$

آنگاه از ترکیب دو رابطه (۱۱ و ۱۲) حل آن خواهیم داشت :

$$\frac{y_2}{y_1'} = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1) \quad (13)$$

که Fr_1 عدد فرود در مقطع بالادست پرش می باشد که تعریف آن بصورت مقابل می

باشد :

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}$$

۳- وسایل مورد نیاز

میز هیدرولیکی، دریچه کشویی، عمق سنج، زمان سنج، دریچه قطاعی، فلوم

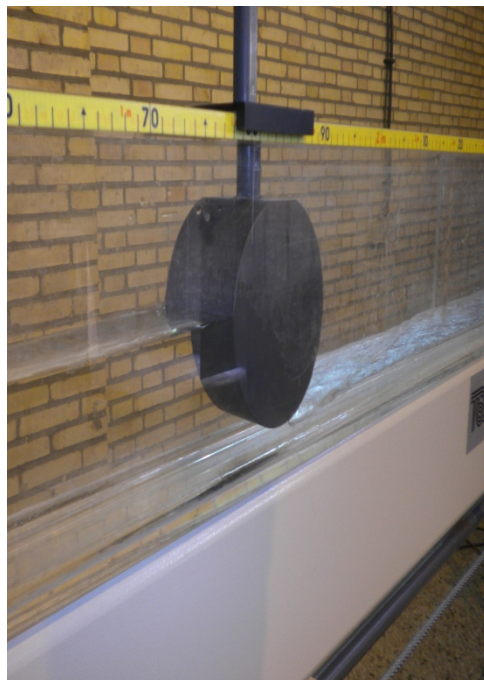
آزمایشگاهی



شکل ۲- دستگاه آزمایش



شکل ۳- دریچه کشویی



شکل ۴- دریچه دایره ای

۴- شرح دستگاه

دستگاه تشکیل شده از یک کانال مستطیل شکل از جنس پلاکسی گلاس که در ارتفاع ۱/۵ متر توسط دو پایه به صورت نسبتاً افقی قرار گرفته است همانطور که در شکل (۳) دیده می‌شود در یک طرف دستگاه مخزنی جهت انباشت آب وجود دارد که قیمت خروجی مخزن به یک پمپ متصل است که جریان بعد از پمپ توسط یک لوله آب به ورودی کانال هدایت می‌شود، در ابتدای کانال تعداد سه صفحه مشبک قرار دارد که جریان آب پس از برخورد و عبور از این صفحات از حالت متلاطم به آرام تبدیل می‌شود، جریان پس از عبور از طول کانال توسط یک لوله بصورت زانوی 90° در انتهای کانال قرار دارد به داخل محفظه میز هیدرولیکی ریخته و پس به داخل مخزن منتقل می‌شود و مجدداً مسیر مذکور را طی می‌کند. دریچه‌ها مانند شکل‌های ۳ و ۴ در طول کانال بر سر راه جریان قرار داده می‌شود و ارتفاع باز شدگی (a) قابل تنظیم است.



شکل ۵- دستگاه کانال باز

۵- نحوه انجام آزمایش

۵-۱- کانال را در حالت افقی قرار دهید

۵-۲- دریچه کشویی را به اندازه ۲۰mm باز کنید.

۵-۳- جریان آب را در فلوم برقرار کنید و بیشترین دبی را به جریان بیندازید. سپس

عمق آب را در بالا دست دریچه قرائت کرده و دبی را هم اندازه گیری کنید.

۵-۴- با کاهش بازشدگی دریچه قطاعی که در پائین دست کانال نصب شده است

عمق پایاب را افزایش دهید تا در کانال پرش هیدرولیکی اتفاق بیفتد.

۵-۵ عمق آب را در ۴ نقطه در بالا دست پرش، پائین دست پرش و محل پرش

برداشت کنید (برداشت پرش تنها برای یک دبی انجام شود).

۵-۶- دبی را کم کرده و به ازای ۳ دبی دیگر عمق آب در بالادست دریاچه را قرائت

کرده و دبی و طول پرش را اندازه گیری نمایید.

۵-۷- میزان بازشدگی دریاچه بالادست را به ۳۰ mm تغییر داده و مراحل ۴-۶ را تکرار

کنید.

۶- محاسبات و تحلیل نتایج

ابتدا پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه Cd را طی مراحل زیر بدست آورید :

$$q = \frac{m^3}{p} = \frac{3m}{t_p} \quad \text{دبی جرمی (m):}$$

$$B = 70 \text{ mm} = \quad \text{عرض کانال (B):}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2 = 9806 \text{ m/s}^2 \quad \text{شتاب ثقل (g):}$$

$$a = 20 \text{ mm OR } 30 \text{ mm} \quad \text{ارتفاع بازشدگی دریاچه (a):}$$

$$y_o = * \quad \text{عمق آب قبل از دریاچه} \left(E - \frac{a}{z} = y_o \right)$$

$$C_d = \frac{Q}{a.B.\sqrt{2gy_o}} \quad \text{ضریب تخلیه (cd):}$$

حال جداول زیر را بطور جداگانه برای بازشدگی ۲۰ mm و ۳۰mm دریچه کامل

کنید.

بازشدگی دریچه : ۲۰ mm و ۳۰ mm

| ردیف | عمق آب اندازه گیری شده پشت دریچه h mm | حجم آب (لیتر) V | زمان (ثانیه) t | دبی جریان (لیتر در ثانیه) Q | سرعت جریان بالادست دریچه (متر در ثانیه) V | طول پرش (سانتیمتر) | E mm | C_d |
|------|---|----------------------------|------------------------|---|---|-----------------------|-----------|-------|
| ۱ | | | | | | | | |
| ۲ | | | | | | | | |
| ۳ | | | | | | | | |

جدول زیر را جهت محاسبه عمق آب بعد از پرش (y_2) کامل کنید

| شماره نقطه | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ |
|------------|--------------|------------------------|-----------------------|------------|
| موقعیت | قبل از دریچه | بعد از دریچه (y_1) | قبل از پرش (y'_1) | بعد از پرش |
| X(cm) | | | | |
| y(cm) | | | | |

اکنون با استفاده از جدول فوق و فرمول زیر مقادیر y_2 تئوری را بدست آورده و با y_2

در جدول مقایسه کنید.

$$\frac{y_2}{y'_1} = \frac{y'_1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1)$$

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{Q}{by'_1}, \quad D = y'_1, \quad Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy'_1}}$$

۷- سوالات

۷-۱- خطای یک میلی متر در تنظیم باز شدگی دریچه چه تأثیری در Cd بدست آمده

می گذارد؟

۷-۲- اگر لبه دریچه را گرد کنیم Cd چه تغییری خواهد کرد.

۷-۳- تحت چه شرایطی پرش هیدرولیکی به جای پائین دست دریچه در بالادست آن

تشکیل می شود.

۷-۴- به کمک محاسبات در مورد محل تشکیل پرش هیدرولیکی در بازشدگی ۲۰

میلی لیتر و ۳۰ میلی متر بحث کنید.

۷-۵- نیروی وارد بر دریچه کشویی را در بازشدگی ۲۰ mm در دبی حداکثر محاسبه

کنید.