



دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی مکانیک

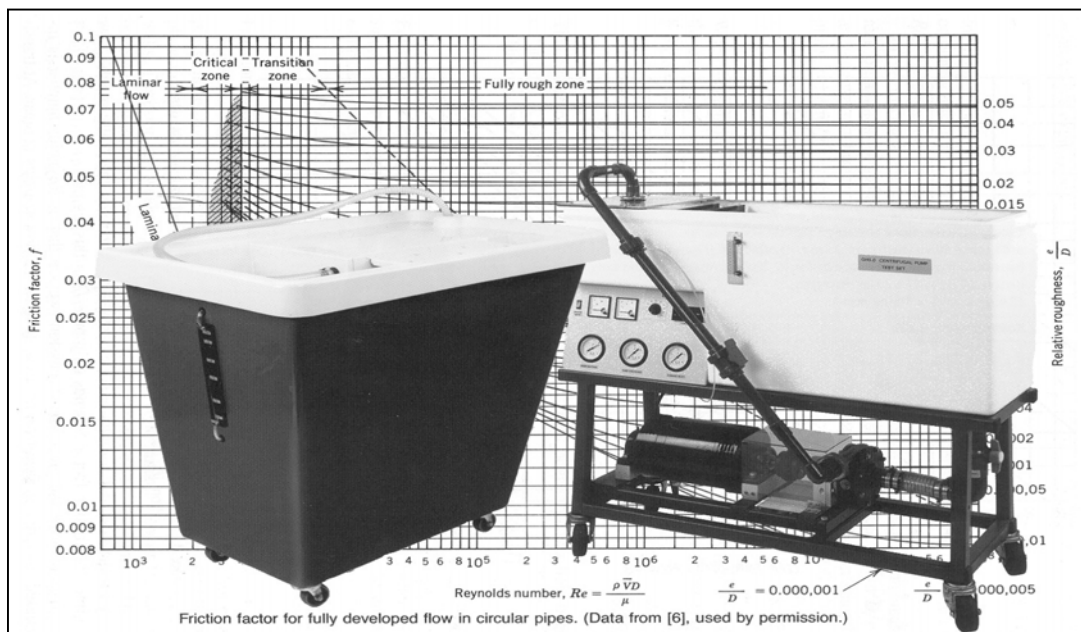
دستور کار

آزمایشگاه مکانیک سیالات

تهیه و تدوین

غلامرضا نعلچی برزکی

(کارشناس مسئول آزمایشگاههای مهندسی مکانیک)



مقدمه

پیشگفتار:

دستورکاری که در ادامه می‌آید برای درس آزمایشگاه مکانیک سیالات و بمنظور استفاده دانشجویان در رشته‌های مهندسی مکانیک و مهندسی شیمی تهیه و تدوین شده است. مطالبی مشابه و جزئیات مربوط به هدف، تئوری، روش انجام آزمایش، شرح دستگاه، محاسبات و سوالات مربوط به هر آزمایش در این دستور کار شرح داده شده است. لازم است دانشجویان عزیز و گرامی قبل از انجام هر آزمایش دستور کار مربوط به هر آزمایش را مطالعه نموده و در هر جلسه آزمایش این دستور کار و بخصوص جداول اطلاعات آزمایش که ضمیمه دستور کار است را به همراه داشته باشند.

باعث خوشنودی و افتخار است که تلاشهای صورت پذیرفته به ثمر نشست و دستور کار اختصاصی برای دستگاههای آزمایشگاهی موجود در آزمایشگاه مکانیک سیالات دانشکده مهندسی دانشگاه کاشان تهیه و تدوین گردید.

در امر تهیه و تدوین این نوشتار از تجربیات مربوط به سالها ارائه آزمایشگاه مکانیک سیالات استفاده شده و کتب مختلف در زمینه مکانیک سیالات و جزوات مشابه مورد استفاده در دانشگاههای دیگر مطالعه و مورد استناد قرار گرفته‌اند.

علیرغم بذل نهایت دقت در امر نگارش این مختصر، هنوز این جزوه خالی از ایراد نیست. لهذا از دانشجویان گرامی تقاضا می‌شود از ارائه نظرات اصلاحی خویش دریغ نفرمایند، بخصوص اینکه در نظر است برای سایر دستگاهها نیز دستور کار تهیه شود.

فهرست عناوین و آزمایشها:

۱	مقدمه
۳	آشنایی با میز هیدرولیکی
۶	اندازه‌گیری ضربه جت آب
۸	بررسی جریان یکنواخت در کانال باز
۱۱	اندازه‌گیری دبی به کمک سرریزها
۱۴	اندازه‌گیری دبی به کمک ونتوری متر
۱۷	اندازه‌گیری افت اصطکاک در سیستم لوله‌کشی و اتصالات
۲۲	اندازه‌گیری دبی به کمک وسایل مختلف
۲۶	اندازه‌گیری نیروی فشار هیدرواستاتیک
۲۹	بررسی عملکرد پمپ گریز از مرکز (سانتریفوژ)

گزارش نویسی:

تهیه گزارش از جمله کارهای لازم و مهم کارشناسان و مهندسين شاغل در صنعت می باشد. هر گزارش ضمن بیان موضوع مورد بررسی باید بتواند به روشنی هدف، روش و نتیجه گیری را بیان نماید. تهیه گزارش برای آزمایشهای آموزشی انجام شده می تواند تجربه خوبی برای تمرین و افزایش مهارتهای گزارش نویسی مهندسی باشد. لذا استفاده از این فرصت به دانشجویان گرامی توصیه می شود.

بعد از اتمام هر آزمایش، لازم است دانشجویان هر زیرگروه بصورت گروهی در محل آزمایشگاه، حضور داشته و در صورت وجود فرصت مناسب، نسبت به تهیه یک گزارش که شامل قسمتهای زیر باشد اقدام نمایند. دانشجویان می توانند گزارش نوشته شده را با هماهنگی افراد زیرگروه، در طول هفته و تا شروع جلسه بعدی آزمایشگاه تکمیل و تحویل نمایند.

- هدف، مقدمه و چکیده آزمایش
- تجزیه و تحلیل تئوری آزمایش
- شرح دستگاهها، وسایل و روشهای مورد استفاده
- نمونه محاسبات مربوط به آزمایش
- جدولی از کل محاسبات انجام شده برای تمام مراحل آزمایش
- نمودارها و منحنی های خواسته شده
- پاسخ به سئوالات مطابق دستور کار
- بحث و نتیجه گیری نهائی
- منابع و مراجع مورد استفاده
- جدول اطلاعات آزمایش (این جدول همزمان با انجام آزمایش با خودکار آبی و بدون خط خوردگی تکمیل می شود و در پایان آزمایش به تأیید استاد آزمایشگاه می رسد).

در تهیه گزارشها لطفاً به نکات زیر توجه فرمایید:

- ۱- صفحه اول گزارش باید شامل موارد زیر دقیقاً به ترتیب ذکر شده، باشد.
نام آزمایشگاه (آزمایشگاه مکانیک سیالات)، عنوان آزمایش، نام دانشجویان و شماره دانشجویی آنها، شماره گروه و زیرگروه و نام استاد. (لطفاً از کلمه بسم الله... و مانند آن در گزارش استفاده نفرمایید).
- ۲- گزارش باید روی یک طرف کاغذ بدون خط (A4) و با خودکار آبی نوشته شود و حاشیه مناسب در اطراف لحاظ شده و برگه های گزارش از طرف حاشیه سمت راست بطور مناسب به یکدیگر متصل شود.
- ۳- تمام منحنیهای خواسته شده، دقیق و تمیز با مداد، روی کاغذ شطرنجی و با در نظر گرفتن واحدهای متناسب، رسم شوند. لازم است در هر منحنی نقاط بدست آمده از آزمایش مشخص باشد. کاغذ ترسیم شده نباید از اندازه کاغذ گزارش (A4) بزرگتر یا کوچکتر باشد.

آزمایش آشنایی با میزهایدرولیکی و اندازه‌گیری دبی به روشهای مستقیم

هدف:

هدف از انجام این آزمایش آشنایی با میزهایدرولیکی و نحوه تأمین سیال عامل لازم برای آزمایش ها و تجربه روش اندازه‌گیری دبی آب بصورت مستقیم است.

مقدمه:

انگیزه و هدف اصلی در هر آزمایشگاه آموزشی از جمله در آزمایشگاه مکانیک سیالات تجربه قوانین و معادلات تئوری و همچنین محاسبه برخی پارامترها و ثابتهای موجود در معادلات تجربی است.

آب سیال عامل اغلب دستگاههای آزمایشگاهی موجود در این آزمایشگاه است که، برای استفاده بهتر و نیز صرفه‌جویی، از آن در یک سیکل بسته استفاده می‌شود. بدین منظور از میزهایدرولیکی استفاده می‌شود. دستگاه آزمایش بر روی این میز قرار می‌گیرد و دارای مخزنی برای ذخیره آبی است که در هنگام آزمایش در یک سیکل بسته جریان پیدا می‌نماید. همچنین هر میز مجهز به مکانیزم خاصی برای اندازه‌گیری آب عبوری از میان دستگاه آزمایش به روش مستقیم وزنی یا حجمی است. بنابراین آشنایی با میزهایدرولیکی و کسب مهارت استفاده از آن در آزمایشگاه بسیار اهمیت دارد.

شرح دستگاه آزمایش:

این دستگاه شامل قسمتهای زیر است:

۱- مخزن اصلی: این مخزن برای ذخیره و تأمین آب مورد نیاز دستگاه آزمایش بکار میرود. حجم تقریبی مخزن حدود ۱۵۰ لیتر ($0.15 m^3$) است. از مخزن اصلی اغلب بعنوان پایه وسیله آزمایشگاهی استفاده می‌شود بگونه‌ای که دستگاه آزمایش و سایر ملحقات روی میز قرار می‌گیرد.

۲- ظرف اندازه‌گیری دبی: با استفاده از مکانیزم خاصی که شرح داده خواهد شد از این ظرف برای اندازه‌گیری دبی بصورت عملی استفاده می‌شود.

۳- الکتروپمپ: برای برگردش درآوردن سیال عامل و نیز تأمین فشار لازم آن بکار می‌رود.

۴- شیر کنترل و لوله خروجی: شیر کنترل، برای تنظیم دبی مورد نیاز دستگاه آزمایش دقیقاً بعد از پمپ تعبیه شده است. سیال خروجی از شیر کنترل وارد لوله رابط بین میزهایدرولیکی و وسیله آزمایش می‌شود و پس از عبور از وسیله آزمایش به داخل ظرف اندازه‌گیری دبی می‌ریزد.



شکل (۱) میزهایدرولیکی نمونه (ب)

انواع میزهایدرولیکی مورد استفاده در آزمایشگاه:

در این آزمایشگاه از دو نوع میزهایدرولیکی استفاده می‌شود که روش اندازه‌گیری دبی در آنها متفاوت است.

الف) میزهایدرولیکی با اندازه‌گیری دبی بصورت وزنی.

ب) میزهایدرولیکی با اندازه‌گیری دبی بصورت حجمی.

در میز نمونه (الف) اندازه‌گیری دبی به روش وزنی و بوسیله یک سیستم اهرم و وزنه صورت می‌گیرد ولی در نمونه (ب) این اندازه‌گیری با کمک یک تانک حجمی انجام می‌شود. چگالی آب در دمای معمول آزمایشگاه برابر $1000 \frac{Kg}{m^3}$ در نظر گرفته می‌شود، بنابراین در اندازه‌گیری از هر دو روش فوق نتیجه مشابهی بدست می‌آید. روش انجام کار با این دو میز و مراحل انجام آزمایش در ادامه آمده است.

روش انجام آزمایش:

مراحل انجام آزمایش در میز نمونه (الف):

- ۱- شیر اصلی (شیر کنترل) میز را بسته و پمپ را روشن کنید.
- ۲- شیر کنترل را به آرامی باز کرده تا آب جریان یابد (ماکزیمم دبی ممکن) و بعد از عبور از وسیله آزمایش به داخل ظرف اندازه گیری دبی بریزد.
- ۳- کشویی شاخص تعادل اهرم اندازه گیری را عقب گشیده (حالت باز) و اهرم را با دست بالا نگاه دارید. به این ترتیب دریچه خودکار تخلیه آب ظرف اندازه گیری دبی باز شده و آب تخلیه می شود.
- ۴- تعدادی وزنه (حدود 3 kg) در محل قرار دادن وزنه ها (کفه) در انتهای اهرم اضافه کنید تا اهرم بطرف پایین حرکت کرده و برای مدت زمان کافی برای روشن نمودن کرنومتر (وسیله اندازه گیری زمان) در همان حالت باقی بماند.
- ۵- در این حال کشویی شاخص تعادل را جلو بکشید (حالت بسته) و آماده روشن نمودن کرنومتر باشید.
- ۶- هنگامی که اهرم با کشویی برخورد کرد (تعادل اولیه) کرنومتر را روشن (Start) نمایید.
- ۷- برای بیشترین دبی تعدادی وزنه (حداقل 7 kg) روی کفه انتهای اهرم اضافه کنید تا اهرم بار دیگر به طرف پایین حرکت کند.
- ۸- هنگام حرکت اهرم بطرف بالا و برخورد آن با کشویی (تعادل ثانویه) بلافاصله کرنومتر را خاموش (Stop) نمایید.
- ۹- دقت نمائید که تعداد وزنه ها (در مرحله ۷) باید بقدری باشد که زمان اندازه گیری شده بین دو حالت تعادل (مرحله ۶ و ۸) حدود ۶۰ ثانیه باشد. (زمان کمتر باعث افزایش خطا، و زمان بیشتر باعث طولانی شدن زمان آزمایش می شود).
- ۱۰- وزنه های اضافه شده در مرحله ۷ و نیز زمان دقیق اندازه گیری شده را در جدول اطلاعات آزمایش یادداشت نمائید.
- ۱۱- بدون تغییر دادن دبی عبوری از دستگاه (بدون تغییر در وضعیت شیر کنترل) آزمایش را دو مرتبه دیگر از مرحله ۳ تکرار و اطلاعات بدست آمده را یادداشت نمائید.
- ۱۲- به کمک شیر کنترل، دبی سیال عبوری را بتدریج طی چند مرحله کاهش داده و آزمایش را تکرار نمائید.

روش انجام محاسبه دبی در روش وزنی:

هنگامی که تعادل اولیه برقرار می شود گشتاور حاصل از وزن ظرف به همراه سایر قسمتهای متصل به آن در طرف راست مرکز دوران اهرم (لولا) با گشتاور حاصل از وزن وزنه ها و قسمتهای نگهدارنده در سمت چپ لولا با یکدیگر برابر می شود.

$$T_M = T_W$$

که T_M گشتاور حاصل از وزن وزنه ها و قسمتهای متصل به آن و T_W گشتاور حاصل از وزن ظرف و مقدار آب داخل ظرف به همراه سایر قسمتهای متصل به آن است. از طرفی این گشتاورها بصورت زیر تعریف می شوند:

$$T_M = m_M g \times L_M$$

$$T_W = (m_W + m_B)g \times L_W$$

$$\Rightarrow m_M g \times L_M = (m_W + m_B)g \times L_W$$

که m_M جرم وزنه ها، m_W جرم آب داخل حوضچه، m_B جرم ظرف و قسمتهای متصل به آن، L_M طول بازوی سمت چپ (سمت وزنه ها) و L_W طول بازوی سمت راست (سمت ظرف) است.

همچنین این معادلات در حالت تعادل ثانویه بدین صورت نوشته می شود:

$$T_M = (m_M + m'_M)g \times L_M$$

$$T_W = (m_W + m'_W + m_B)g \times L_W$$

$$\Rightarrow (m_M + m'_M)g \times L_M = (m_W + m'_W + m_B)g \times L_W$$

که m'_M جرم وزنه های اضافه شده و m'_W جرم آب اضافه شده است.

اگر معادلات حالت تعادل اولیه از معادلات تعادل ثانویه کم شود نتیجه زیر بدست خواهد آمد:

$$m'_M \times L_M = m'_W \times L_W$$

و با توجه به مشخصات دستگاه که:

$$L_M = 3 \times L_W$$

داریم:

$$m'_W = m'_M \times 3$$

بنابراین با کمک این معادله و با داشتن جرم وزنه های اضافه شده، می توان جرم آب اضافه شده را محاسبه نمود و سپس با داشتن زمان اندازه گیری شده می توان دبی را بصورت زیر محاسبه کرد.

$$\dot{m}_a \left(\frac{Kg}{Sec} \right) = \frac{m'_w}{t} \Rightarrow Q_a \left(\frac{m^3}{Sec} \right) = \frac{\dot{m}_a}{r_{H_2O}} = \frac{\dot{m}_a}{1000}$$

که $\dot{m}_a$ دبی وزنی عملی، Q_a دبی حجمی عملی و t زمان اندازه‌گیری شده است.

مراحل انجام آزمایش در میز نمونه (ب):

- ۱- شیر اصلی میز را بسته و پمپ را روشن کنید.
- ۲- شیر کنترل را به آرامی باز کرده تا آب جریان یابد (ماکزیمم دبی ممکنه) تا بعد از عبور از وسیله آزمایش به داخل ظرف اندازه‌گیری دبی بریزد.
- ۳- دریچه تخلیه مخزن اندازه‌گیری را باز کرده تا آب آن تخلیه شود.
- ۴- برای اندازه‌گیری دبی دریچه مخزن را بوسیله دستگیره مخصوص محکم بسته و مطمئن شوید که آب نشت نمی‌کند.
- ۵- هنگامی که سطح آب در آب نمای مخزن که در کنار میز تعبیه شده است، با یکی از خطوط اندازه‌گذاری شده (این اعداد بر حسب لیتر درجه بندی شده‌اند) منطبق شد (N_1) کرنومتر را روشن (Start) نمایید.
- ۶- پس از گذشت مدت زمان کافی (حدود ۶۰ ثانیه)، کرنومتر را مقابل خطی دیگر (N_2) از آب نما خاموش (Stop) نمایید. (توجه داشته باشید که خاموش و روشن کردن کرنومتر دقیقاً مقابل خطوط اندازه‌گذاری شده باشد).
- ۷- اعداد قرائت شده و نیز زمان دقیق اندازه‌گیری شده را در جدول اطلاعات آزمایش یادداشت نمایید.
- ۸- بدون تغییر دادن دبی عبوری از دستگاه (بدون تغییر در وضعیت شیر کنترل) آزمایش را دو مرتبه دیگر (از مرحله ۳ به بعد) تکرار و اطلاعات بدست آمده را یادداشت نمایید.
- ۹- به کمک شیر کنترل، دبی سیال عبوری را بتدریج طی چند مرحله کاهش داده و در هر مورد اندازه‌گیری را سه دفعه تکرار نمایید و نتایج بدست آمده را یادداشت کنید.

روش انجام محاسبه دبی حجمی:

از تفاضل دو عدد قرائت شده در مرحله ۵ و ۶ که زمان روشن و خاموش کردن کرنومتر است حجم آب عبوری از دستگاه در زمان اندازه‌گیری بر حسب لیتر و از آنجایی که چگالی آب $\frac{Kg}{m^3}$ 1000 است جرم آب بر حسب کیلوگرم مشخص می‌شود. یعنی:

$$m'_w = N_2 - N_1$$

حال با داشتن زمان می‌توان دبی را بدین صورت محاسبه نمود:

$$\dot{m}_a \left(\frac{Kg}{Sec} \right) = \frac{m'_w}{t} \Rightarrow Q_a \left(\frac{m^3}{Sec} \right) = \frac{\dot{m}_a}{r_{H_2O}} = \frac{\dot{m}_a}{1000}$$

محاسبات:

برای تمام مراحل آزمایش:

- ۱- دبی جرمی جریان عبوری را محاسبه کنید.
- ۲- دبی‌های جرمی محاسبه شده در هر مرحله (هر دبی یکسان) را با توجه به تکرار اندازه‌گیریها با یکدیگر مقایسه کرده و تفاوت نسبی آنها را بدست آورید. آیا می‌توان این تفاوت را همان مقدار خطای اندازه‌گیری دانست.

سوالات:

- ۱- در مورد دلیل تفاوت نتایج اندازه‌گیری و محاسبه یک دبی مشابه در سه دفعه اندازه‌گیری توضیح دهید.
- ۲- به نظر شما انواع خطاهای ممکن در اندازه‌گیری دبی با روشهای شرح داده شده در این آزمایش چیست.
- ۳- اگر در آزمایشی مقدار ۳۰ کیلوگرم آب در ۴۵ ثانیه از دستگاه آزمایش عبور نموده باشد، دبی عبوری از دستگاه (بر حسب $\frac{kg}{Sec}$) را محاسبه کنید. اگر شخصی که زمان را اندازه‌گیری می‌کند به اندازه ۲ ثانیه در روشن و خاموش کردن کرنومتر تعلل نموده باشد درصد خطای دبی اندازه‌گیری شده فقط به همین دلیل چه مقدار است؟

آزمایش اندازه گیری ضربه جت آب (ضربه فوران آب)

هدف:

هدف از انجام این آزمایش بررسی نیروهای حاصل از برخورد جت آب به یک مانع مسطح یا کروی ساکن به صورت تجربی و تئوری است.

مقدمه:

نیروی وارد از طرف مانع به سیال برابر با تغییرات ممتموم سیال قبل و بعد از برخورد به مانع است. طبق قانون سوم نیوتن عکس این نیرو از طرف سیال به مانع اعمال می شود. این نیروی اعمال شده اساس استفاده از نیروی جت آب در توربینهای پلتون است. لازم به ذکر است که تصویر این نیرو در هر امتدادی برابر با تصویر تغییرات ممتموم سیال در همان امتداد است.

تئوری آزمایش:

مطابق رابطه انتگرالی بقای ممتموم برای مانع ساکن داریم:

$$\sum \vec{F} = \int_{cv} \vec{V} r \vec{V} dA$$

مطابق شکل (۱) اگر جت سیالی با سرعت V_i و دبی Q به پره ای ساکن برخورد کند و با همان سرعت در امتدادی که با امتداد ورودی زاویه q می سازد خارج شود نیروهای وارد به سیال به صورت زیر بیان می شود.

$$F_x = rQ(V_i \cos q - V_i)$$

$$F_y = rQV_i \sin q$$

در موضوع پره شکل (۱)، بسته به اندازه زاویه q مقدار F_x و F_y متفاوت خواهد بود. به عنوان نمونه چنانچه $q = 180^\circ$ باشد (مانع نیمکره یا سهمی) مقدار F_x و F_y به صورت زیر می آیند.

$$F_x = -2rQV_i$$

$$F_y = 0$$

و چنانچه $q = 90^\circ$ باشد (مانع تخت) مقادیر F_x و F_y بصورت زیر می شود.

$$F_x = -rQV_i$$

$$F_y = rQV_i$$

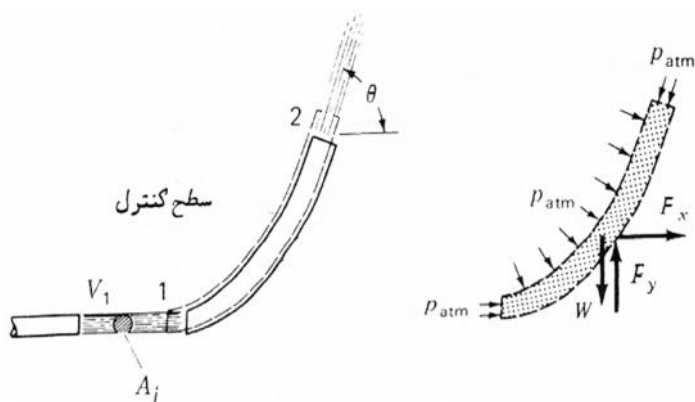
شرح دستگاه آزمایش:

در دستگاه آزمایش (شکل ۲) یک جت آب پس از خروج از افشانک به مانع مسطح یا نیم کره ای برخورد می کند. جت پس از برخورد به مانع مسطح 90° درجه و پس از برخورد به مانع نیم کره ای 180° درجه تغییر جهت می دهد. مانع به اهرمی متصل است که با جابجا کردن وزنه تعادل بر روی آن و ایجاد تعادل می توان نیروی برخورد جت را بصورت تجربی و مستقیم اندازه گیری نمود. برخی از مشخصات دستگاه به صورت زیر است.

قطر افشانک = ۱۰ میلی متر

جرم وزنه تعادل = ۶۰۳ گرم

فاصله محور مانع تا محور لولای اهرم = ۱۸۰ میلی متر



شکل (۱) نیروهای حاصل از برخورد جت سیال.



شکل (۲) دستگاه آزمایش ضربه جت آب

فاصله سر افشانک تا محل برخورد سیال به مانع = ۳۵ میلیمتر
می توان از طریق تجربی نیروی حاصل از برخورد جت آب را به موانع مختلف، با معادله زیر محاسبه نمود.

$$F_J = \frac{F_m \times l_m}{l_J} \quad (I)$$

که در رابطه بالا F_J نیروی حاصل از برخورد جت آب، l_J فاصله محور مانع تا محور اهرم، F_m نیروی وزن وزنه تعادل و l_m طول بازوی اضافه شده وزنه تعادل در هر مرحله از آزمایش (عدد خط کش) است.

روش انجام آزمایش:

در مورد هر کدام از موانع تخت یا کروی ابتدا باید دستگاه را کالیبره نمود. برای انجام این کار باید با استفاده از پیچهای زیر دستگاه آن را تراز کرده سپس وزنه تعادل را روی صفر اهرم قرار داد و پیچ بالای فنر تعادل را تنظیم کرد تا شاقول شاخص تعادل اهرم که در محل خود قرار گرفته است تعادل اهرم را نشان دهد.

پس از تنظیم دستگاه و اطمینان از بسته بودن شیر بعد از پمپ (شیر کنترل دبی)، پمپ را روشن کنید. سپس شیر را باز کرده تا بیشترین دبی ممکن جریان پیدا کند. واضح است که بر اثر برخورد جت آب با مانع تعادل اهرم بهم می خورد. در این حالت با جابجا کردن وزنه تعادل روی اهرم، بار دیگر تعادل را برقرار نمایید (حالت تعادل افقی بودن اهرم است که از شاقول مشخص می شود). بعد از تعادل، اطلاعات مربوط به محاسبه دبی، به همراه فاصله وزنه تعادل از صفر خط کش (عدد خط کش) را در جدول اطلاعات آزمایش یادداشت نمایید.

برای انجام چند مرحله آزمایش، با جابجا کردن وزنه تعادل، عدد خط کش را به دفعات کاهش داده سپس به کمک شیر کنترل دستگاه دبی سیال را طوری تنظیم کنید تا اهرم به تعادل برسد و آزمایش را برای دبی های کمتر تکرار نمایید.

تذکر: این آزمایش با چند دبی برای مانع مسطح و چند دبی برای مانع کروی انجام شود.

محاسبات:

۱- برای تمام مراحل آزمایش، سرعت جت آب را در خروج از افشانک و همچنین قبل از برخورد به مانع (سرعت سیال ورودی به مانع) محاسبه نمایید.

۲- با استفاده از نتایج آزمایش (جدول اطلاعات آزمایش) نیروی تجربی وارد از طرف جت آب به هر مانع را در هر مرحله بدست آورید.

۳- با استفاده از روابط تئوری، مقادیر نیروی وارد به موانع را در دبی های مختلف محاسبه کنید. این مقادیر را با مقادیر بدست آمده از قسمت ۲ مقایسه و درباره اختلاف احتمالی توضیح دهید.

۴- مقادیر تجربی نیروی وارد به هر مانع را بر حسب نرخ ممنتوم ورودی آن رسم کنید.

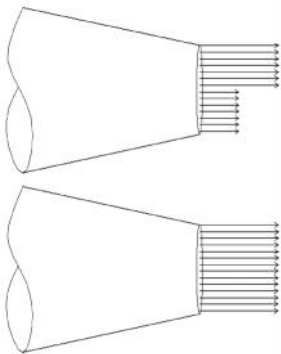
سوالات:

۱- با رسم شکل جدار داخلی افشانک توضیح دهید که چرا جت آب به شکل منظم از آن خارج می شود؟

۲- اگر توزیع سرعت در یک مقطع یکنواخت نباشد ممنتوم عبور کرده از آن مقطع معمولاً بزرگتر از مقداری است که با در نظر گرفتن سرعت متوسط محاسبه می شود. برای تصحیح، ممنتوم محاسبه شده را در ضریب تصحیح (b) ضرب می کنند. ضریب تصحیح ممنتوم را برای جت آبی با مشخصات زیر بدست آورید. جت آبی را در نظر بگیرید که سطح مقطع آن a باشد و پروفیل سرعت در نیمی از آن $0.5U_0$ و در نیم دیگر آن $1.5U_0$ مطابق شکل مقابل باشد (U_0 سرعت جت آب برای حالتی است که سرعت یکنواخت باشد).

۳- شکل مقطع عمودی جت سیال را در خروج از افشانک و قبل از برخورد با مانع بطور شماتیک رسم نمایید.

۴- معادله تجربی ارائه شده برای محاسبه نیروی جت (رابطه I) را ثابت کنید.



شکل مربوط به سوال ۲

آزمایش

بررسی جریان یکنواخت در کانال باز

هدف:

هدف از انجام این آزمایش مطالعه جریان با عمق یکنواخت دائم در کانال باز و بدست آوردن ضرائب چزی (Chezy) برای دبی‌های مختلف و مقایسه آنها با نتایج تئوری است.

مقدمه:

جریان در کانال باز به جریانی گفته می‌شود که سطح آن با اتمسفر در تماس باشد (مثل رودخانه‌ها، کانالها و لوله‌های نیمه پر). از آنجایی که فشار اتمسفر ثابت است معادله انرژی برای سیال غیر قابل تراکم به صورت زیر در می‌آید.

$$E_t = Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} \Rightarrow Z + \frac{U^2}{2g} = \text{ثابت}$$

این جریان ممکن است حالات مختلفی به خود بگیرد. در نتیجه لازم است اختلاف بین این حالات مشخص شود تا فرضیاتی که لازم است برای یک آنالیز تئوری تعریف شود با شرایط و حالاتی که برای جریان ممکن است رخ دهد مطابق باشد.

در برخی وضعیت‌ها و بطور عمده در شرایطی که بستر جریان (کف کانال) دارای شیب ملایم است، جریان عبوری، از نظر عمق سیال حالت یکنواخت خواهد داشت. برای سیال غیر قابل تراکم با یک سطح آزاد، جریان یکنواخت هنگامی رخ می‌دهد که نیروی مخالف ناشی از تنش برشی دیواره‌ها با مولفه وزن سیال در راستای شیب کف با هم برابر شوند. در این صورت چنانچه شکل و عرض کانال ثابت باشد سرعت متوسط سیال از یک مقطع به مقطع دیگر و در نتیجه سطح مقطع جریان ثابت می‌ماند و در این صورت عمق سیال در طول جریان یکسان (ثابت) خواهد ماند. باید خاطر نشان کرد که بوجود آمدن جریان یکنواخت در یک کانال باز به عوامل زیادی بستگی دارد که مهمترین آنها شیب کانال و زبری سطح جداره‌های کانال است.

شرایط آرام و مغشوش، همانند جریان داخل لوله‌ها در اینجا نیز به وسیله نسبت نیروی اینرسی به نیروی چسبندگی مشخص می‌شود و نسبت این دو نیرو عدد رینولدز است.

$$R_e = \frac{rum}{\mu}$$

مقادیر لزجت (μ) برای آب	
μ (N.s/m ²)	دما (°C)
$1/792 \times 10^{-3}$	۰
$1/519 \times 10^{-3}$	۵
$1/308 \times 10^{-3}$	۱۰
$1/140 \times 10^{-3}$	۱۵
$1/005 \times 10^{-3}$	۲۰
$0/801 \times 10^{-3}$	۳۰

در این معادله r جرم مخصوص، m چسبندگی سیال، u سرعت متوسط جریان و $m = \frac{A}{P}$ است که به آن عمق متوسط هیدرولیکی می‌گویند. (A سطح مقطع جریان و P محیط خیس شده است). برای محاسبه عدد رینولدز، مقدار m با توجه به دمای آب تعیین می‌شود (مثلاً از جدول مقابل). کمترین مقدار مرزی (بحرانی) عدد رینولدز برای انتقال به جریان مغشوش در کانال باز ۶۰۰ است (در مورد جریان داخل لوله این مقدار برابر ۲۳۰۰ است). به همین دلیل در کاربردهای مهندسی در کانال باز عموماً جریان توسعه یافته مغشوش وجود دارد.

تئوری آزمایش:

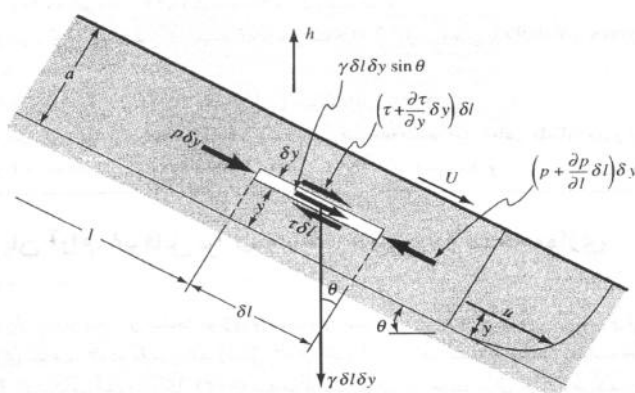
حجم مشخصی از سیال در حال حرکت در کانال باز را بین صفحات ۱ و ۲ (شکل روبرو) در نظر بگیرید. رابطه انرژی بین دو نقطه روی سطح سیال به صورت زیر است:

$$(z_1 + h_1) + \frac{u_1^2}{2g} = (z_2 + h_2) + \frac{u_2^2}{2g} + h_{f_{1-2}}$$

که $h_{f_{1-2}}$ افت انرژی بین دو نقطه است.

حال اگر جریان، یکنواخت و دائم باشد نتیجه آن که $u_1 = u_2$

و $h_1 = h_2$ بنابراین $z_1 - z_2 = h_{f_{1-2}}$



از طرفی:

$$\frac{z_1 - z_2}{dl} = \text{Sin}q \Rightarrow z_1 - z_2 = dl \text{Sin}q = h_f$$

که dl فاصله بین مقاطع ۱ و ۲ است.

به علت اینکه عمق در نقاط ۱ و ۲ یکسان است فشار هیدرولیکی در دو انتهای حجم باید یکسان باشد. پس نیرویی که باعث حرکت سیال می شود مولفه وزن حجم سیال بین مقاطع ۱ و ۲ است. همچنین نیروی ناشی از تنش برشی در خلاف جهت حرکت در سطح تماس سیال و جداره کانال اثر می کند و با نیروی وزن معادل است.

$$W \text{Sin}q = tPdl$$

$$W = rgAdl$$

در این معادله t تنش برشی در جداره کانال است. بنابراین:

$$rgAdl \text{Sin}q = tPdl$$

$$t = \frac{A}{P} rg \text{Sin}q = \frac{A}{P} rgi$$

که $i = \text{Sin}q = \frac{h_f}{dl}$ گرادیان انرژی است.

اگر جریان را کاملاً مغشوش در نظر بگیریم، اثرات لزجت (بجز نزدیک جداره‌ها) قابل صرف نظر بوده و می توان نشان داد که مشابه با جریان در مجاری بسته تنش برشی در جداره‌ها متناسب با فشار دینامیکی است. یعنی:

$$t = f \frac{1}{2} ru^2$$

که f ثابت تناسب یا ضریب اصطکاک است. پس:

$$f \frac{1}{2} ru^2 = \frac{A}{P} rgi$$

$$f \frac{1}{2} ru^2 = mrgi$$

$$\Rightarrow u = \sqrt{\frac{2g}{f}} \times \sqrt{mi}$$

در این معادله $c = \sqrt{\frac{2g}{f}}$ به ضریب چزی معروف است. بنابراین می توان معادله را بصورت زیر نوشت.

$$u = c\sqrt{mi}$$

معادله فوق، به معادله چزی برای جریان یکنواخت دائم در یک کانال معروف است.

قبلاً مشخص شده که f و c تابع زبری سطح کانال هستند. البته این ضرائب متأثر از اندازه و شکل سطح مقطع جریان نیز هستند که این وابستگی بوسیله عدد رینولدز و عمق متوسط هیدرولیکی مشخص می شود. مطالعات زیادی انجام شده تا معادله‌ای تجربی، برای نشان دادن رابطه بین این مقادیر، بدست آید. به همین منظور مانینگ (Maning) آزمایشهای مختلفی برای جریان با عمق یکنواخت انجام داد و رابطه تجربی زیر را پیشنهاد نمود:

$$c = \frac{m^{1/6}}{n}$$

که در آن n ضریب زبری مانینگ و m عمق متوسط هیدرولیکی است.

مقادیر متوسط ضریب زبری مانینگ	جنس
$n(m^{-1/3} - Sec)$	
۰/۰۱۰	شیشه
۰/۰۱۶	آجر
۰/۰۱۲	بتن پرداخت شده
۰/۰۱۵	بتن پرداخت نشده
۰/۰۱۲	چوب تراشیده شده
۰/۰۲۵	زمین با شرایط خوب
۰/۰۳۵	زمین پوشیده از سنگ و علف

ضریب زبری مانینگ بدون بعد نیست و مقادیر جدول مقابل آن را برای سطوح مختلف کانالها بیان می کند.

با بکار بردن مقادیر مناسب n و m در رابطه مانینگ مقدار c برای قرار دادن در معادله چزی بدست می آید.

شرح دستگاه آزمایش:

این دستگاه شامل سه قسمت اصلی است. ۱- پمپ و مخزن آب، ۲- مکانیزم اندازه گیری وزن آب، ۳- کانال باز شیب دار که شیب آن قابل تنظیم است.

تانک آب، مخزن مکعب مستطیل شکل روبازی است که دارای حجم کافی است تا هنگامی که پمپ در دبی ماکزیمم کار می کند بتواند آب مورد نیاز کانال را تأمین کند.

پمپ از نوع سانتریفوژ یک طبقه با کوپله مستقیم با دبی $Q_m = 280 \text{ l/min}$ است. شدت جریان سیال بوسیله یک شیر کنترل که روی لوله خروجی تعبیه شده تنظیم می شود.

مکانیزم اندازه گیری وزن آب همانند مکانیزم بکار رفته در میزهای هیدرولیکی (نمونه الف) است با این تفاوت که حجم آن بزرگتر است. این مکانیزم شامل یک ظرف با دریچه خروجی است که بر روی یک بازوی تعادل با نسبت سه به یک سوار شده و وزنه های بکار رفته در انتهای بازو مشخص کننده مقدار آب جمع شده در ظرف میباشند. به کمک کرنومتر می توان زمان لازم برای جمع شدن مقدار مشخصی آب را بدست آورد و دبی را محاسبه نمود.

کانال شیب دار از شیشه مخصوص ساخته و بوسیله تعدادی بست فلزی بر روی یک چارچوب بسته شده است. (تا از وسط خم نشود). طول کانال ۱۶ فوت (حدود ۵ متر) و عرض آن ۳ اینچ (۷۶ میلیمتر) است. در قسمت ورودی کانال دو صفحه توری نصب شده است تا اغتشاشهای جریان را کاهش دهد. با بستن انتهای کانال بوسیله یک ورق لاستیکی انعطاف پذیر و ذخیره نمودن آب در کانال در حالت ساکن می توان شیب کف کانال را به دلخواه تنظیم نمود.

با انجام آزمایش مشخص شده است که در این کانال در شرایطی که شیب کف آن $i = \sin \theta = \frac{1}{400}$ باشد جریان یکنواخت برای محدوده ای از دبی ها برقرار خواهد بود.

روش انجام آزمایش:

پس از اطمینان از بسته بودن شیر کنترل دبی، پمپ را روشن کرده سپس شیر کنترل را کمی باز نمائید تا آب جریان یابد. ورق لاستیکی را در انتهای کانال قرار دهید تا آبی عبور ننماید. کانال را تقریباً تا نیمه پر از آب کنید. شیر بعد از پمپ را ببندید و پمپ را خاموش کنید. مدتی صبر کنید تا آب داخل کانال راکد شود. به کمک دسته مخصوص، شیب را طوری تنظیم کنید که عمق آب در نقطه علامت گذاری شده پایین دست کانال ۱ سانتیمتر بیشتر از عمق آب در نقطه علامت گذاری شده بالا دست باشد. (فاصله این دو نقطه ۴۰۰ سانتیمتر است). در چنین حالتی کف کانال دارای گرادینان انرژی (شیب) $\frac{1}{400}$ خواهد شد. ورق لاستیکی را خارج کنید و پمپ را روشن کنید. شیر بعد از پمپ را طوری تنظیم نمایید که دبی ماکزیمم برقرار شود. پس از اطمینان از دائم شدن جریان و برقراری جریان با عمق یکنواخت عمق آب و اطلاعات مربوط به محاسبه دبی (وزن وزنه ها و زمان) را در جدول اطلاعات آزمایش یادداشت نمایید. آزمایش را برای چند دبی مختلف تکرار نمایید. در پایان پس از بستن شیر کنترل و خاموش کردن پمپ دستگاه، درجه حرارت آب را نیز یادداشت نمایید.

محاسبات:

برای تمام مراحل آزمایش دبی، سطح مقطع، محیط خیس شده، سرعت جریان و عمق متوسط هیدرولیکی را محاسبه نمایید.

۱- مقدار m را در درجه حرارت مربوطه از جدول استخراج کرده و عدد رینولدز را برای تمام دبی ها بدست آورید.

۲- از روی نتایج فوق ضریب ثابت چزی $(c = \frac{u}{\sqrt{mi}})$ را محاسبه نمایید.

۳- برای مرحله اول آزمایش با استفاده از رابطه مانینگ وبا فرض $n=0.001$ و $n=0.005$ ، $n=0.01$ ضریب c را بدست آورده و با نتایج بدست آمده از آزمایش (در همان مرحله) مقایسه نمایید. در صورت مشاهده اختلاف علل آن و خطاهای موجود در آزمایش را بیان کنید.

۴- برای مرحله اول آزمایش خطوط تراز انرژی و هیدرولیک را رسم و آنها را بررسی نمایید.

آزمایش اندازه گیری دبی به کمک سرریزها

هدف:

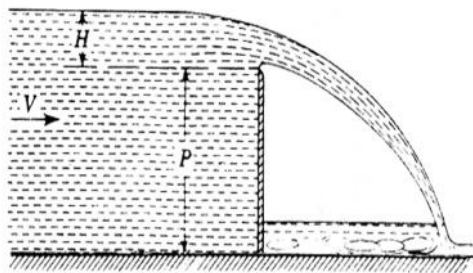
هدف از انجام این آزمایش مطالعه انواع سرریزها و پیدا کردن رابطه بین مقدار دبی عبوری با ارتفاع سیال پشت سرریز است.

تئوری:

دبی آب عبور نموده از سرریز بستگی به مشخصات و شکل آن دارد و بطور کلی با ارتفاع آب پشت سرریز متناسب است. رابطه تئوری کلی و جامع آن بصورت زیر است.

$$Q = KH^n$$

در این معادله Q دبی جریان و H هد (ارتفاع) آب پشت سرریز است. همچنین K و n مقادیر ثابت وابسته به شکل هندسی سرریز هستند. برای بدست آوردن معادله جریان سرریز از معادله برنولی استفاده می شود. قبل از بدست آوردن معادله سرریز بهتر است قدری راجع به نحوه جریان، توزیع سرعت و افتها در سرریز واقعی توضیح داده شود.



شکل (۱) جریان از روی یک سرریز واقعی

شکل جریان در سرریز واقعی بصورت شکل (۱) است. این شکل نشان می دهد که تجزیه و تحلیل این جریان با روابط ریاضی معمولی و به روش تحلیل قابل حل نیست. به همین دلیل برای بررسی مشخصات جریان در سرریزها معمولاً از روشهای تجربی همراه با انجام آزمایش، استفاده می شود. هر چند در اولین برخورد با سرریز مشخص است که عامل اساسی در تعیین دبی عبوری از سرریز همانا ارتفاع آب پشت سرریز است، ولی به دو دلیل زیر هیچ رابطه ای تحلیلی بین این دو عامل نمی توان نوشت.

(الف) شکل خاص جریان، (ب) وجود تأثیرات اغتشاش و اصطکاک.

در تحلیل تئوری و برای ایجاد امکان حل تحلیلی، تأثیر اغتشاش، اصطکاک، کشش سطحی، توزیع واقعی سرعت روی لبه سرریز و ایجاد جریانهای ثانویه در گوشه های تیز سرریز در نظر گرفته نمی شوند و فرضیات منطقی دیگری هم اعمال می شوند. لذا یک نتیجه تقریبی حاصل می شود. در نهایت با بکار بردن یک ضریب تجربی به مقدار زیادی روابط بدست آمده با واقعیت مطابق خواهد شد.

برای بدست آوردن یک معادله ساده برای سرریز فرضهای زیر انجام می شوند:

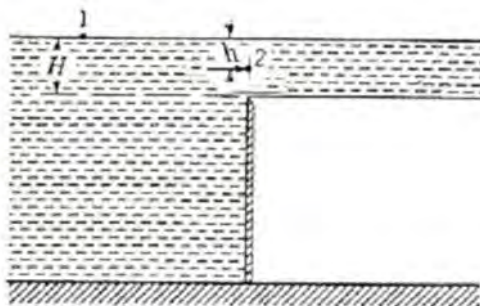
۱- توزیع سرعت در بالا دست سرریز یکنواخت است.

۲- تمام ذرات سیال هنگام عبور از سرریز بطور افقی حرکت می کند.

۳- فشار در روی سطح منحنی ریزش صفر است.

۴- از تأثیر چسبندگی، اغتشاش، جریانهای ثانویه و کشش سطحی صرف نظر می شود.

این فرضها باعث می شود که شکل منحنی جریان بصورت شکل (۲) درآید.



شکل (۲) جریان از روی سرریز پس از اعمال فرضیات

الف) سرریز U شکل (مستطیلی):

اگر مقطع (۱) را در بالا دست سرریز و مقطع (۲) را در روی سرریز مستطیلی انتخاب کنیم (شکل ۲) و معادله برنولی را بین نقاط (۱) و (۲) بنویسیم نتیجه می شود که:

$$H + \frac{v_1^2}{2g} = (H - h) + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$v_2 = \sqrt{2g \left(h + \frac{v_1^2}{2g} \right)}$$

که نشان می دهد v_2 تابع h است.

از طرفی اگر dq مقدار دبی عبوری از المان دو بعدی با ارتفاع dh و پهنای واحد باشد داریم:

$$dq = v_2 dh$$

$$q = \int_0^H v_2 dh = \sqrt{2g} \int_0^H \left(h + \frac{v_1^2}{2g}\right)^{\frac{1}{2}} dh$$

$$q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \left[\left(H + \frac{v_1^2}{2g}\right)^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{v_1^2}{2g}\right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

به علت فرم خاص این معادله حتماً باید با سعی و خطا حل شود. با این وجود در اغلب سرریزها $H \gg P$ است و سطح مقطع جریان در کانال اصلی قبل از سرریز از سطح مقطع جریان در خود سرریز بسیار بزرگ تر است، لذا v_1 خیلی کوچک است و از $\frac{v_1^2}{2g}$ صرف نظر می شود.

در نتیجه معادله نهائی بصورت زیر ساده می شود:

$$q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}}$$

این معادله اصلی سرریزهای مستطیل شکل است. در این معادله باید ضریب تخلیه (C_w) اعمال شود. این ضریب عامل و دربرگیرنده اثر همه فرضیات مختلفی است که قبلاً بحث شد. لذا برای سرریز مستطیل شکل واقعی رابطه بین دبی و هد (ارتفاع آب پشت سرریز) بصورت زیر می شود:

$$q = C_w \frac{2}{3} \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}}$$

این معادله برای سرریزی با پهنای واحد بدست آمده است. برای محاسبه دبی سرریز باید این معادله را در پهنای سرریز (L) ضرب نمود (برای سرریز موجود در آزمایشگاه $L=30$ mm است).

برای اینکه اثر عوامل دیگر روی ضریب تخلیه پیدا شود باید از آنالیز دیمانسینی استفاده شود. متغیرهای مستقل قابل ذکر که در جریان یک سرریز دخالت می کنند عبارتند از q, H, P, m, S, r و q که با بکار بردن آنالیز دیمانسینی رابطه مربوط به گروههای بدون بعد تعیین می شود.

تجربه نشان می دهد که اثر چسبندگی و کشش سطحی در جریان سرریز تنها وقتی قوی است که H خیلی کم باشد.

ب) سرریز V شکل (مثلثی):

برای اندازه گیری دبی های کم، از سرریز گوشه دار استفاده می شود که مشهورترین آنها سرریز مثلثی یا V شکل است. با یک بررسی خلاصه و ساده شده مشابه سرریز مستطیل شکل (و با صرف نظر از سرعت v_1) و در نظر گرفتن ضریب تخلیه رابطه زیر بدست می آید.

$$Q = C_w \left(\frac{8}{15} \tan \frac{\alpha}{2} \sqrt{2g}\right) H^{\frac{5}{2}}$$

نتایج تجربی نشان داده اند که سرریز مثلث شکل با زاویه رأس $\alpha = 90^\circ$ و سیال آب دارای ضریب تخلیه $C_w = 0.59$ است. البته اثرات چسبندگی، کشش سطحی و زبری صفحه سرریز می توانند آن را تحت تأثیر قرار داده و باعث ازدیاد آن شوند.

شرح دستگاه آزمایش:

دستگاه آزمایش شامل میز هیدرولیکی نمونه (ب)، با منبع اصلی آب و پمپ و تانک اندازه گیری دبی و همچنین کانال پشت سرریز است. آبی که از منبع میز پمپ می شود، به داخل کانال کوتاه پشت سرریز هدایت می شود و پس از آرام شدن از روی سرریز عبور نموده و وارد داخل تانک اندازه گیری دبی می شود. پس از اندازه گیری دبی با باز کردن خروجی تانک آب به منبع اصلی میز بازگردانده می شود. در انتهای کانال شیارهائی برای نصب انواع سرریزها وجود دارد. همچنین در وسط این کانال یک دستگاه ارتفاع سنج نصب شده که با مماس کردن نوک خط کش آن به سطح آب، ارتفاع آب پشت سرریز را می توان اندازه گیری کرد.

روش انجام آزمایش:

بعد از اطمینان از بسته بودن شیر بعد از پمپ، آن را روشن کنید. سپس شیر را به آهستگی باز نمائید تا آب جریان پیدا کند و وارد کانال شود. پس از اینکه آب از روی سرریز جریان یافت، باید دستگاه اندازه گیری ارتفاع را کالیبره نمود. بدین منظور شیر را بطور کامل بسته، صبر کنید تا جریان آب از روی سرریز قطع شود. حال ارتفاع سنج را با سطح آب مماس نموده بگونه ای که نوک آن و تصویرش داخل آب بر هم منطبق شود. ارتفاع نشان داده شده را یادداشت نمایید. این ارتفاع بعنوان I_0 (ارتفاع در دبی صفر) است.

شیر را تا آخر باز کرده تا ماکزیمم دبی عبور نماید. نوک خط کش دستگاه ارتفاع سنج را بر سطح آب مماس نموده و ارتفاع اندازه گیری شده، به همراه اطلاعات مربوط به محاسبه دبی عملی را، در جدول اطلاعات آزمایش یادداشت نمائید. بوسیله شیر بعد از پمپ دبی را بتدریج کم کنید و در هر مرحله ارتفاع و اطلاعات مربوط به محاسبه دبی را یادداشت و آزمایش را در چند مرحله تکرار نمائید.

اندازه گیری باید تا مرحله ای ادامه یابد که باعث ایجاد جریانهای موجی در سطح سرریز نشود. جریانهای موجی در سطح سرریزها وقتی بوجود می آید که ارتفاع آب پشت سرریز U شکل کمتر از ۱۰ میلیمتر و برای سرریز V شکل کمتر از ۲۰ میلیمتر باشد.

تذکر: آزمایش ها را هم برای سرریز U شکل و هم برای سرریز V شکل انجام دهید.

محاسبات:

- ۱- از روی نتایج آزمایش منحنی تغییرات دبی بر حسب ارتفاع آب پشت سرریز $(Q - H)$ را در یک نمودار رسم کرده و سرریزهای مثلثی و مستطیلی را از روی منحنی های بدست آمده با هم مقایسه کنید.
- ۲- منحنی لگاریتمی دبی بر حسب ارتفاع آب $(\log Q - \log H)$ را در یک نمودار رسم کرده و از روی آن و رابطه کلی، ضریب K و توان n را برای هر دو سرریز بدست آورید و روی مقادیر بدست آمده بحث کنید.
- ۳- ضریب تخلیه سرریزهای استفاده شده در آزمایش را بدست آورده و روی آنها بحث کنید.

سوالات:

- ۱- اگر شکل سرریز دوزنقه ای باشد روابط مربوطه چگونه می شود؟
- ۲- روشهای مختلف برای اندازه گیری دبی در کانالهای باز را مختصراً شرح دهید.

آزمایش اندازه گیری دبی به کمک ونتوری متر

هدف:

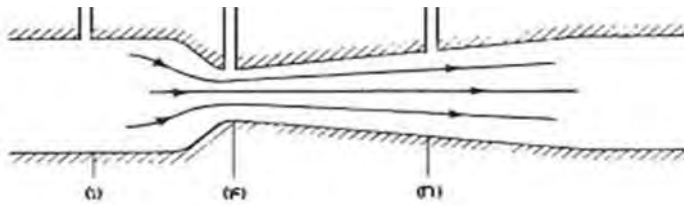
از جمله اهداف انجام این آزمایش، اندازه گیری دبی بوسیله ونتوری متر، مطالعه توزیع فشار در طول ونتوری، اندازه گیری افت فشار اصطکاکی در طول ونتوری و تحقیق در مورد ضریب تخلیه ونتوری است.

مقدمه:

ونتوری متر وسیله ایست که سالیان دراز برای اندازه گیری دبی در لوله ها مورد استفاده قرار می گیرد. سیالی که در حال عبور از لوله است از مسیر همگرایی به گلوگاهی هدایت می شود که دارای سطح مقطع کمتری از سطح مقطع لوله اصلی است. در نتیجه سرعت جریان در گلوگاه بیشتر از سرعت آن در لوله می شود. این افزایش سرعت همراه با کاهش فشار است که متناسب با دبی سیال است. بنابراین با اندازه گیری کاهش فشار، می توان دبی را محاسبه نمود. بعد از گلوگاه سیال وارد لوله واگرایی می شود که فشار افزایش و در صورت رسیدن قطر لوله به اندازه قطر ورودی قسمت همگرا سرعت تا مقدار سرعت ورودی کاهش می یابد.

تئوری آزمایش:

فرض کنید که جریان دائم غیر قابل تراکمی از لوله همگرا- واگرای نشان داده شده در شکل زیر عبور نماید. سطح مقطع در ورودی A_1 ، در گلوگاه A_4 و در هر نقطه دلخواه دیگری A_n است. لوله های پیزومتر نیز ارتفاعهای h_1 ، h_4 و h_n را نشان می دهند.



فرض میکنیم که هیچگونه افت انرژی در طول لوله وجود نداشته و دستگاه نیز کاملاً تراز باشد. بنابراین سرعت سیال و ارتفاع پیزومترها در هر یک از مقاطع مورد نظر مقدار ثابتی است. در نتیجه معادله برنولی بصورت زیر در می آید:

$$\frac{u_1^2}{2g} + h_1 = \frac{u_4^2}{2g} + h_4 = \frac{u_n^2}{2g} + h_n$$

در این معادله u_1 ، u_4 و u_n به ترتیب سرعتهای جریان در مقاطع ۱، ۴ و n هستند. معادله پیوستگی به صورت زیر است:

$$u_1 A_1 = u_4 A_4 = u_n A_n = Q_t$$

که Q_t دبی حجمی است.

اگر u_1 را از معادله پیوستگی بدست آورده و در معادله برنولی قرار دهیم:

$$\frac{u_4^2}{2g} \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 + h_1 = \frac{u_4^2}{2g} + h_4 \Rightarrow u_4 = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_4)}{1 - \left(\frac{A_4}{A_1} \right)^2}}$$

در نتیجه مقدار دبی با توجه به معادله پیوستگی بدین صورت بدست می آید:

$$Q_t = A_4 u_4 = A_4 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_4)}{1 - \left(\frac{A_4}{A_1} \right)^2}}$$

در شرایط واقعی مقداری افت انرژی بین مقطع ۱ و ۴ وجود دارد. نتیجه آنکه دبی واقعی عبوری از دستگاه اندکی کمتر از مقدار محاسبه شده از معادله تئوری خواهد بود. برای جبران این اختلاف از ضریب تخلیه استفاده شده و از معادله (I) برای محاسبه دبی استفاده می شود:

$$Q_a = CA_4 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_4)}{1 - \left(\frac{A_4}{A_1}\right)^2}} \quad (I)$$

که Q_a دبی واقعی (عملی) و C ضریب تخلیه نامیده می شود، و مقدار این ضریب با انجام آزمایش بدست می آید. مقادیر C برای دو دستگاه مختلف متفاوت است و برای یک دستگاه نیز با تغییرات دبی، اندکی تغییر می نماید، ولی معمولاً عددی بین ۰/۹۲ تا ۰/۹۹ است. تغییرات فشار در طول یک لوله همگرا- واگرا طبق معادله برنولی (جریان بدون اصطکاک) از رابطه زیر بدست می آید:

$$h_n - h_1 = \frac{u_1^2 - u_n^2}{2g}$$

به منظور محاسبه و مقایسه مقادیر تجربی با مقادیر محاسبه شده معمول است که $h_n - h_1$ را بصورت کسری از هد جنبشی در گلوگاه وسیله اندازه گیری می نویسند. یعنی:

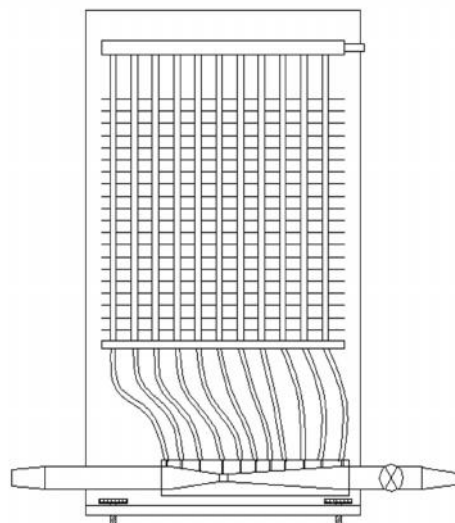
$$\frac{h_n - h_1}{\frac{u_4^2}{2g}} = \frac{u_1^2 - u_n^2}{u_4^2}$$

اگر در سمت راست معادله بالا بجای نسبت سرعتها، نسبت مساحتها قرار گیرد (از معادله پیوستگی) توزیع فشار ایده آل بصورت زیر می شود.

$$\frac{h_n - h_1}{\frac{u_4^2}{2g}} = \left(\frac{A_4}{A_1}\right)^2 - \left(\frac{A_4}{A_n}\right)^2$$

شرح دستگاه آزمایش:

دستگاه از شیشه مخصوص شفاف ساخته شده است. آب از مخزن اصلی پمپ شده و بعد از عبور از شیر اصلی وارد ونتوری متر می شود. پس از عبور از شیر کنترل که بلافاصله بعد از ونتوری نصب شده از طریق یک لوله وارد دستگاه اندازه گیری دبی می شود. مطابق شکل زیر تعداد یازده عدد پیزومتر در طول دستگاه ونتوری به بدنه آن وصل شده است. این پیزومترها بر روی یک تابلوی عمودی نصب شده اند. پیزومترها اختلاف فشار مقاطع مختلف ونتوری را نشان می دهند. بالای همه آن ها بوسیله یک لوله بزرگ بهم وصل است و در انتهای این لوله یک شیر سوزنی برای تنظیم فشار هوای موجود در بالای پیزومترها وجود دارد. کلیه مجموعه بر روی یک پایه فلزی سوار شده است که می توان به وسیله آن دستگاه را تراز نمود. قابل توجه است که برای اندازه گیری دبی تنها پیزومترهای ۱ و ۴ (ورودی و گلوگاه) کافی هستند و بقیه پیزومترها برای نشان دادن توزیع فشار در طول ونتوری متر هستند.



محل نصب پیزومترها در طول ونتوری

مشخصات محل نصب پیزومترها در طول ونتوری مطابق جدول زیر است.

پیزومتر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
قطر مقطع (mm)	26.00	23.20	18.40	16.00	16.80	18.47	20.16	21.84	23.53	25.24	26.00
فاصله طولی (mm)	0	20	32	46	61	76	91	106	121	136	156

روش انجام آزمایش:

قبل از انجام آزمایش باید پیزومترها را بگونه‌ای تنظیم نمود که بتوان بیشترین تعداد آزمایش را در محدوده مدرج پیزومترها انجام داد. برای اینکار، پس از اطمینان از بسته بودن شیر اصلی دستگاه (شیر بعد از پمپ)، پمپ را روشن کنید. حال در شرایطی که شیر کنترل دستگاه بسته است شیر اصلی را به آرامی باز کنید تا سیال وارد ونتوری و لوله‌های پیزومتر شود. جابجای هوای تشکیل شده در پیزومترها را خارج کرده و به کمک شیر هوایی مقدار فشار هوای روی آن‌ها را تنظیم کنید.

اولین مرحله آزمایش مربوط به دبی ماکزیمم است. در این حالت اختلاف ارتفاع $h_1 - h_4$ بیشترین مقدار را دارد. سپس با کم کردن دبی بوسیله شیر کنترل، آزمایش باید در چند مرحله دیگر تکرار شود تا اختلاف ارتفاع به نزدیک صفر برسد.

در هر مرحله از آزمایش ارتفاع آب داخل پیزومترها و اطلاعات مربوط به محاسبه دبی عملی (وزن وزنه‌ها و زمان) را در جدول اطلاعات آزمایش یادداشت نمایید.

محاسبات:

۱- مقادیر مختلف دبی عملی و تئوری را در هر مرحله بدست آورده، سپس ضریب تخلیه ونتوری را محاسبه کنید.

۲- به ازای دبی ماکزیمم و مقادیر اندازه‌گیری شده h_1 تا h_n ، مقادیر مختلف $\frac{h_n - h_1}{u_4^2 / 2g}$ تجربی را محاسبه نموده، منحنی تغییرات آن و نیز

منحنی تغییرات $\frac{h_n - h_1}{u_4^2 / 2g}$ تئوری را برحسب طول ونتوری در یک نمودار رسم کرده، منحنی تجربی را با منحنی تئوری مقایسه نمایید.

۳- در معادلات تئوری در چندین مورد از معادله برنولی برای محاسبات استفاده شد. برای بررسی اثر وجود اصطکاک از روی نتایج اندازه‌گیری شده، مقدار هد کلی محاسبه نموده و با استفاده از معادلات زیر درصد افت (b) را بین ورودی (پیزومتر ۱) و خروجی (پیزومتر ۱۱) تعیین کنید.

$$H_{Total} = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_{11}}{\rho g} + \frac{v_{11}^2}{2g} + Z_{11} + \Delta H_{Loss}$$

$$b = \frac{\Delta H_{Loss}}{H_{Total}} \times 100$$

سوالات:

- اگر ونتوری متر افقی نباشد چه تغییری در روابط ایجاد می‌شود؟
- با مقدار C بدست آمده از آزمایش قطر گلوگاه یک ونتوری با قطر لوله ورودی $0.06m$ ، دبی جریان $Litr/s$ ۴ و اختلاف فشار بین ورودی و گلوگاه $0.8 m_{H_2O}$ را حساب کنید.

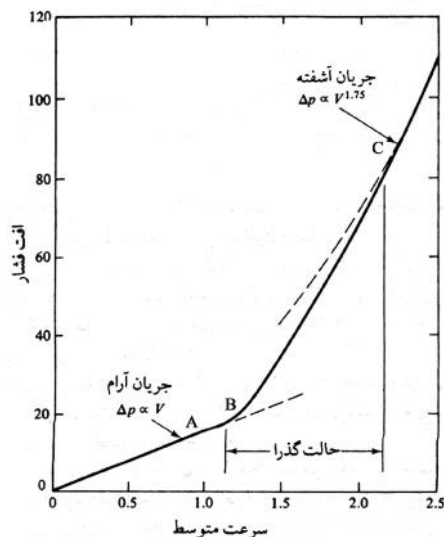
آزمایش

اندازه گیری افت اصطکاک در سیستم لوله کشی و اتصالات

هدف:

هدف از انجام این آزمایش، بررسی افت در سیستم لوله کشی، اتصالات و شیرها و نیز تعیین ضریب اصطکاک آنها است.

مقدمه:



افت فشار در لوله ها تابعی از سرعت سیال است ($h_l \propto u^n$). مقدار n برای جریان آرام برابر ۱ و برای جریان مغشوش بین ۱/۷ تا ۲ است. این نتایج از روی آزمایش بدست آمده و منحنی شکل روبروگویی آن است.

از مبدأ تا نقطه A (نقطه بحرانی پایینی)، جریان آرام (Laminar) و از نقطه A تا B (نقطه بحرانی بالایی)، جریان ناپایدار یا گذرا (Transition) است. از این نقطه به بعد n خیلی بزرگتر از ۲ است و روی منحنی تا C ادامه پیدا می کند. از C به بعد که شیب منحنی بین ۱/۷۵ تا ۲ است ناحیه مغشوش (Turbulent) قرار دارد.

باید تذکر داده شود که سرعت تنها عاملی نیست که وضعیت جریان را معین میکند بلکه عامل تعیین کننده عدد رینولدز است.

$$Re = \frac{r\bar{V}D}{\mu} = \frac{\bar{V}D}{\nu}$$

$\bar{V}$ سرعت متوسط سیال درون لوله، D قطر لوله، μ لزجت سینماتیکی ($\frac{\mu}{\rho}$) است.

معمولاً در رینولدز کمتر از ۲۱۰۰ حالت جریان آرام (آرام) است و در رینولدز بیشتر از ۱۰۰۰۰ حالت توربولنت (مغشوش) وجود دارد. اگر چه در بعضی مواقع می توان تا حدود رینولدز ۵۰۰۰ نیز جریان آرام داشت که البته ناپایدار است و با کوچک ترین اغتشاشی جریان توربولنت شدید می شود.

نکته دیگر اینکه در بعضی موارد می توان از رینولدز ۱۰۰۰ به بعد حالت توربولنت داشت که مبین زبری بیش از حد لوله و یا عوامل دیگر ایجاد اغتشاش است.

برای لوله هایی که مقطع دایره ای ندارند کمیت دیگری به غیر از قطر لوله باید تعریف شود. این کمیت را شعاع متوسط هیدرولیکی $\bar{R} = \frac{A}{P}$ می نامند (A سطح مقطع و P محیط خیس شده جداره جریان) و در رابطه رینولدز بجای قطر قرار می دهند.

تئوری آزمایش:

با انتخاب یک حجم کنترل درون لوله و نوشتن معادلات مربوط به نیروی فشاری سیال و تنش برشی روی جداره می توان نشان داد که:

$$h_l = C_f \frac{L}{R} \times \frac{V^2}{2g}$$

C_f عبارت از ضریب بدون بعد اصطکاک است. در لوله با مقطع دایره ای شعاع هیدرولیکی بصورت زیر نوشته می شود:

$$\bar{R} = \frac{A}{P} \Rightarrow \bar{R} = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = \frac{r}{2} = \frac{D}{4}$$

$$\Rightarrow h_l = 4C_f \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

با تعریف $f = 4C_f$ نتیجه می شود که:

$$h_l = f \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

معادله فوق را معادله دارسی می نامند.

۱- افت فشار در جریان آرام درون لوله با مقطع دایره:

در جریان آرام تنش برشی تابعی از تغییرات سرعت است ($t = m \frac{du}{dy}$). البته در مورد لوله رابطه فوق بصورت ($t = -m \frac{du}{dr}$) در می آید و نشان میدهد که تنش برشی در جداره‌ها ماکزیمم و در خط وسط صفر است. می توان نشان داد که در جریان آرام، افت فشار اصطکاکی، تابع خطی سرعت است. همچنین ضریب اصطکاک در این رابطه عدد تجربی نیست و مستقیماً محاسبه می شود و تحت تأثیر زبری جداره لوله نیست. این ضریب عبارت است از:

$$f = \frac{64}{Re}$$

۲- افت فشار در جریان توربولنت درون لوله با مقطع دایره:

در حالت توربولنت تنش برشی بصورت زیر است:

$$t = m \frac{dV}{dy} + h \frac{dV}{dy}$$

که $m \frac{dV}{dy}$ معروف به تنش برشی آرام و $h \frac{dV}{dy}$ معروف به تنش برشی توربولنت است. حل تحلیلی روابط در این حالت پیچیده و تقریباً غیرممکن است، بنابراین برای محاسبه افت فشار از رابطه کلی داری استفاده و مقادیر f از نمودار تجربی Mody استخراج می شود. این نمودار ثمره آزمایش های مودی در لوله های مختلف و برای رینولدزهای مختلف است.

۳- افت فشار در مقاطع

عمده افت در مقاطع مختلف بدلیل ایجاد پدیده های ثانویه در این مقاطع است که در قسمت های بعد به بعضی از آنها اشاره می شود.

۳-۱- افت فشار در مدخل لوله (ورودی):

هنگام ورود سیال از مخزنی بداخل یک لوله به علت انقباض جریان و ایجاد ناحیه مرده مقداری افت داریم که با رابطه زیر بیان می شود:

$$h_e = k_e \frac{\bar{V}^2}{2g}$$

k_e ضریب افت و $\bar{V}$ سرعت متوسط داخل لوله است.

اگر مدخل ورودی گرد شده باشد انقباض در سیال ورودی کمتر می شود و ضریب افت کاهش می یابد. در صورتی که مدخل ورودی با شعاع بسیار کم گرد شده باشد ضریب افت حدود 0.3 است (شکل a-1). در صورتی که شعاع گرد شده بیشتر باشد مقدار ضریب افت کمتر از 0.1 است و اغلب آنرا حدود 0.04 فرض می کنند که قابل صرف نظر کردن است (شکل a-2). در شرایطی که مدخل ورودی یک مخروط با زاویه کل بین 30 تا 60 درجه باشد ضریب افت برابر 0.18 است. برای یک مدخل با گوشه های تیز ضریب افت 0.5 است (شکل b). وقتی لوله تا مقداری داخل مخزن شده باشد (شکل c) بیشترین مقدار انقباض در ورود سیال به لوله صورت می گیرد، زیرا خطوط جریان هم از اطراف و هم از جلو وارد آن می شوند. میزان انقباض بستگی به این دارد که لوله چه مقدار وارد مخزن شده و همچنین ضخامت لوله در مقایسه با قطر آن چقدر است. برای لوله با جدار بسیار نازک شرایط مانند حالت (شکل b) است. به دلایل بالا ضریب افت برای (شکل c) بسیار مختلف است و معمولاً مقدار آن حدود 0.8 انتخاب می شود.

۳-۲- ضریب افت در خروجی (تخلیه):

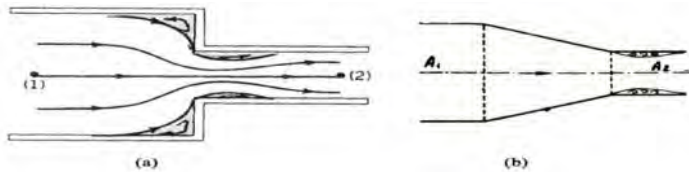
هنگامی که سیالی با سرعت $\bar{V}$ از لوله ای به داخل مخزنی تخلیه می شود و حجم مخزن بقدر کافی زیاد است، تمام انرژی جنبشی ورودی مستهلک می شود. بنابراین افت تخلیه برابر است با:

$$h_d = \frac{\bar{V}^2}{2g}$$

دلیل استفاده از لوله تخلیه (Draft tube) در توربینهای عکس عملی همین است. توجه شود که ضریب افت در اینجا برابر ۱ است.

۳-۳- افت‌های ناشی از تراکم سیال (کاهش مقطع

(Contraction):



۳-۳-۱- تراکم ناگهانی: پدیده انقباض ناگهانی در شکل (a) زیر نشان داده شده است. افت اصطکاکی فشار به میزان قابل ملاحظه‌ای وجود مانع در مسیر جریان و ایجاد ناحیه مرده و ناشی از ایجاد گردابه‌ها و اغتشاش است. افت هد را می‌توان توسط رابطه زیر نشان داد:

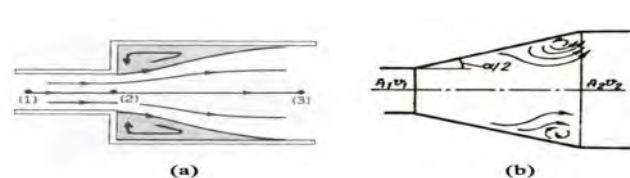
$$h_c = k_c \frac{\bar{V}_2^2}{2g}$$

که مقادیر k_c از جدول (۱) که در برگرنده مقادیر تجربی است بدست می‌آید.

جدول ۱: مقادیر ضریب افت برای کاهش سطح مقطع											
D_2/D_1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
k_c	0.50	0.45	0.40	0.39	0.36	0.33	0.28	0.22	0.15	0.06	0.0

۳-۳-۲- تراکم تدریجی: برای کاهش شدت افت در تراکم ناگهانی، مقطع را بصورت تدریجی کاهش می‌دهند (شکل b بالا). در چنین حالتی مقدار افت بمیزان قابل توجهی کم می‌شود. زاویه کل بین ۲۰ تا ۴۰ درجه مناسبترین زاویه رأس برای کاهش سطح مقطع است. ضریب افت فشار در چنین حالتی ۰.۱ است. باید توجه داشت که اگر زاویه مخروط خیلی کم باشد طول مخروط خیلی زیاد شده و افت اصطکاک طولی زیاد می‌شود.

۳-۴- افت ناشی از انبساط سطح (افزایش سطح مقطع (Enlargement)



۳-۴-۱- انبساط ناگهانی: شرایط ناشی از انبساط ناگهانی در شکل (a) روبرو نشان داده شده است. در این حالت به علت بوجود آمدن پدیده جدائی و جریانهای گردابی نزدیک جدارها و اغتشاش بیشتر، افت از حالت مشابه مربوط به کاهش سطح مقطع بیشتر است. در صورتی که جریان غیر لزج باشد افزایش فشار

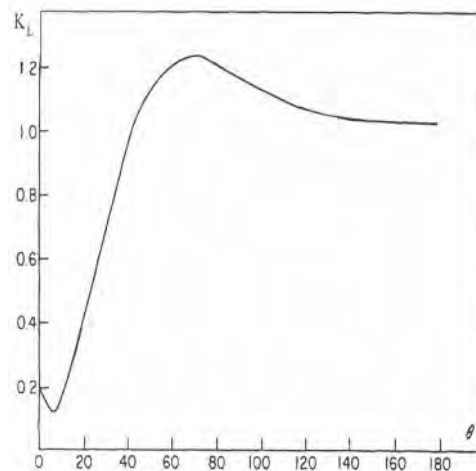
$$\Delta h = \frac{(\bar{V}_1 - \bar{V}_3)^2}{2g}$$

ناشی از انبساط بین مقاطع ۱ و ۲ مساوی است با:

$\bar{V}_1$ و $\bar{V}_3$ سرعتهای متوسط مقاطع ۱ و ۳ هستند. در جریان لزج افزایش فشار به اندازه فوق حاصل نمی‌شود و افت هد عبارت است از:

$$h_{En} = k_{En} \frac{\bar{V}_1^2}{2g}$$

۳-۴-۲- انبساط تدریجی: برای کاهش افت ناشی از کاهش سرعت در انبساط ناگهانی، می‌توان از یک لوله واگرا (شکل b بالا) استفاده نمود. لوله واگرا می‌تواند یک سطح منحنی یا یک مخروط ناقص باشد. افت هدی تابعی از زاویه رأس و نسبت مقاطع و برابر $h_{En} = k_{En} \frac{\bar{V}_1^2}{2g}$ است. برای وضعیت های a و b فوق ضریب k_{En} با انجام آزمایش تعیین می‌شود. این ضریب متناسب با افزایش فشاری است که می‌توانست در جریان غیر لزج بدلیل تغییر سرعت اتفاق بیافتد ولی بدلیل اثرات لزجت اتفاق نمی‌افتد.



ضریب افت در افزایش تدریجی سطح مقطع

برای انبساط تدریجی k_{En} (K_L) در نمودار شکل بالا) ضریب افت است و با توجه به نتایج تئوری تابعی از زاویه مخروط (q) است. جالب توجه است که برای زاویه بیشتر از 40° ، افت همانند افت مربوط به انبساط ناگهانی، یعنی برای زاویه 180° ، است و بین این دو زاویه، یعنی بین $(40-180)$ درجه افت مقداری بیشتر از افت مربوط به انبساط ناگهانی است. بیشینه افت مربوط به $q = 60^\circ$ است و علت آن تمرکز جریانهای گردابی ایجاد شده در این زاویه است.

جدول ۲: ضریب افت در اتصالات

ضریب افت (k)	اتصالات لوله
0.3	زانویی ۹۰ درجه استاندارد فلنجی
1.5	زانویی ۹۰ درجه استاندارد پیچی
0.2	زانویی ۴۵ درجه شعاع بزرگ فلنجی
0.4	زانویی ۴۵ درجه شعاع بزرگ پیچی
0.9	سه راهی (خطی)
2.0	سه راهی (انشعابی)
7.0	شیر کروی کاملاً باز
10.0	شیر کروی (فلکه) $\frac{1}{2}$ باز
15.0	شیر کشوی (فلکه) $\frac{1}{4}$ باز
0.15	شیر کشوی کاملاً باز
2.1	شیر کشوی $\frac{1}{2}$ باز
17.0	شیر کشوی $\frac{1}{4}$ باز

۴- افت در اتصالات (Loss in pipe fittings):

افت در اتصالات را می توان با عبارت زیر نشان داد:

$$h = k \frac{\bar{V}^2}{2g}$$

که $\bar{V}$ سرعت در لوله هم قطر اتصال است. با عنایت به نتایج تجربی مقدار k در جداول کتب مختلف داده شده است. جدول (۲) نمونه آنهاست.

می توان بجای ضریب افت ناشی از اتصالات، طول معادل لوله هم قطر آن ($\frac{L}{D}$) را محاسبه کرده و بجای آن بکار برد. ولی باید توجه داشت که این اتصالات ایجاد چنان اغتشاشی می کنند که افت ایجاد شده بوسیله آنها متناسب با V^2 است بنابراین روش قرار دادن طول معادل باید مربوط به حالتی باشد که در ناحیه توربولنت کامل باشیم. برای لوله های خیلی صاف بهتر است که مقادیر k را بکار ببریم.

شرح دستگاه آزمایش:

دستگاه آزمایش شامل یک تابلو عمودی است که بر روی آن دو سیکل لوله کشی نصب شده است.

سیکل اول شامل یک شیر کشویی (Gate Valve)، یک لوله مستقیم، یک زانوی تند ۹۰ درجه و یک زانوی استاندارد ۹۰ درجه است.

سیکل دوم شامل یک شیر فلکه (Globe Valve)، یک انبساط ناگهانی، یک تراکم ناگهانی، سه خم ۹۰ درجه با شعاع انحناهای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلیمتر است.

در سیکل اول اختلاف فشارهای بین دو سر لوله ای با طول ۹۱۴.۴ میلیمتر و به قطر ۱۳.۶ میلیمتر توسط پیزومتر شماره ۶، دو سر زانوی تند ۹۰ درجه بوسیله پیزومتر شماره ۱۰، دو سر زانوی استاندارد ۹۰ درجه بوسیله پیزومتر شماره ۳ و دو سر شیر کشویی بوسیله مانومتر جیوه ای تفاضلی شماره ۲ اندازه گیری می شود.

در سیکل دوم اختلاف فشارهای مربوط به انبساط ناگهانی از لوله‌ای با قطر 13.6 میلیمتر به لوله‌ای با قطر 26.2 میلیمتر با پیزومتر شماره 4، تراکم ناگهانی از لوله‌ای با قطر 26.2 میلیمتر به لوله‌ای با قطر 13.6 میلیمتر با پیزومتر شماره 5، خمهای 90 درجه با شعاع انحناء 50، 100 و 150 میلیمتر به ترتیب با پیزومترهای شماره 9، 8 و 7 و دو سر شیر فلکه با کمک مانومتر جیوه‌ای تفاضلی شماره 1 اندازه‌گیری می‌شود. دو سیکل یاد شده بالا، در ابتدا و انتها به یک لوله ورودی و خروجی متصل هستند که این لوله‌ها نیز به ترتیب به لوله خروجی پمپ و لوله ورودی تانک اندازه‌گیری (Weight tank) میز هیدرولیکی وصل می‌شوند.

روش انجام آزمایش:

پس از اطمینان از بسته بودن شیر اصلی دستگاه (شیر بعد از پمپ)، پمپ را روشن و شیر اصلی را تا آخر باز کنید. شیر فلکه که مربوط به سیکل دوم است را کاملاً ببندید و شیر کشویی را تا آخر باز نموده، اعداد پیزومترها و اطلاعات مربوط به محاسبه دبی عملی را در جدول اطلاعات آزمایش یادداشت نمایید. بکمک شیر کشویی چند دبی مختلف برای سیکل تنظیم کرده و آزمایش را تکرار نمایید. پس از خاتمه مراحل بالا، شیر کشویی را ببندید و شیر فلکه را بطور کامل باز کنید تا جریان در مدار دوم برقرار شود. برای چند دبی مختلف آزمایش را با شیر فلکه تکرار نموده و اطلاعات آنها را به همراه درجه حرارت آب یادداشت نمایید.

تذکر مهم: قبل از شروع به خواندن پیزومترها باید کاملاً مطمئن شوید که پیزومترها عاری از حباب هوا می‌باشند.

محاسبات:

- ۱- با محاسبه عدد رینولدز نشان دهید که جریان در هر یک از مراحل آزمایش آرام است یا توربولنت؟
- ۲- ضریب متوسط اصطکاک در لوله مستقیم را بدست آورید.
- ۳- ضریب افت متوسط مربوط به زانوی 90 درجه تند و استاندارد و نیز برای خمهای 90 درجه با شعاع انحنای 50، 100 و 150 میلیمتر را بدست آورده و با هم مقایسه کنید. (دقت نمایید که محاسبه و مقایسه ضریب افتها در سرعتهای سیال برابر برای دو سیکل صورت گیرد.)
- ۴- ضریب افت متوسط شیر کشویی و شیر فلکه را در دو حالت کاملاً باز و تقریباً نیمه باز (مرحله اول و مرحله میانی آزمایش) بدست آورده و با هم مقایسه کنید.
- ۵- ضریب افت متوسط در کاهش ناگهانی را محاسبه نمایید.
- ۶- افت متوسط فشار ناشی از اصطکاک در افزایش ناگهانی مقطع را از رابطه تئوری محاسبه و با افت بدست آمده در عمل مقایسه کنید.

سوالات:

- ۱- چه موقع می‌توان ضریب افت و طول معادل لوله را بجای هم بکار برد. توضیح دهید.
- ۲- در لوله‌کشی ساختمانها معمولاً سرعت در لوله‌ها باید در حدود 1 تا 1.5 متر بر ثانیه باشد. زیرا بیشتر از آن باعث سر و صدا و کمتر از آن باعث افزایش قطر لوله‌ها و افزایش هزینه‌ها می‌شود. حال با توجه به مسئله سرعت در لوله‌ها، ثابت کنید که در لوله‌های معمولی ($D=13.6$) و در درجه حرارت و شرایط محیط هرگز جریان آرام در لوله‌کشی معمولی نداریم و اصولاً در مورد آب و سیالات رقیق (بغیر از سیالهای خیلی لزج) جریان آرام در صنعت وجود ندارد.
- ۳- چرا پیزومترهای مربوط به زانو‌ها در فاصله دوری بعد از زانو قرار داده شده است.
- ۴- چهار زانوی مختلف داریم که افت فشار مربوط به هر یک را با قرار دادن در یک سیستم لوله‌کشی بدست آورده‌ایم. حال این چهار زانو را بدون واسطه در جهات مختلف بهم وصل می‌کنیم و در یک سیستم لوله‌کشی قرار داده و افت فشار کلی را اندازه می‌گیریم. آیا افت فشار نشان داده شده بوسیله این مجموعه مساوی مجموع افت فشارهای چهار زانوی منفرد است یا نه؟ تشریح نمایید.
- ۵- مقطعی از شیر فلکه (کروی) و شیر کشویی را رسم نموده و این دو شیر را با هم مقایسه نمایید.

آزمایش اندازه گیری دبی به کمک وسایل مختلف

هدف:

هدف از انجام این آزمایش، اندازه گیری همزمان دبی جریان سیال با استفاده از سه وسیله ونتوری متر، اریفیس متر و رتامتر همچنین مقایسه آنها با یکدیگر است.

مقدمه:

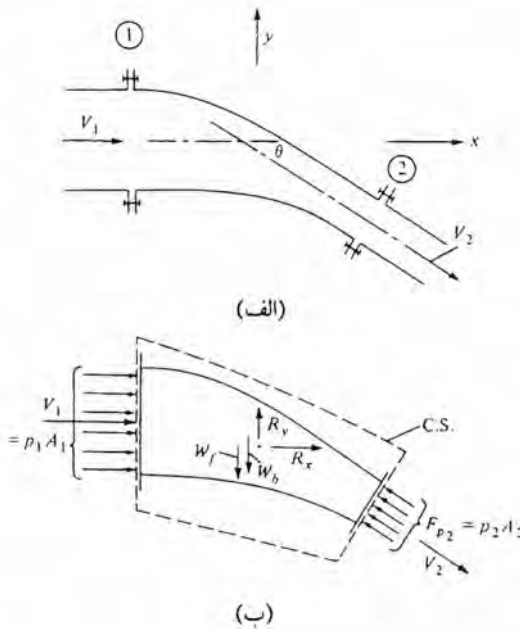
هنگامی که سیال غیرقابل تراکم از داخل مجرای (لوله) با ابعاد متغیر عبور کند (شکل الف و ب روبرو)، طبق معادله برنولی رابطه زیر بین دو مقطع مختلف از جریان برقرار است:

$$\frac{P_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} + z_i = \frac{P_o}{\rho g} + \frac{V_o^2}{2g} + z_o + \Delta H_{i-o} \quad (I)$$

که در آن $\frac{P}{\rho g}$ هد هیدرواستاتیک (فشار)، $\frac{V^2}{2g}$ هد جنبشی (سرعت) و z هد پتانسیل (ارتفاع) است.

$$E = \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z$$

و نیز ΔH_{i-o} افت هد کل بین مقطع i و o است.



تئوری آزمایش:

الف) ونتوری متر (Venturi meter)

در ونتوری متر (شکل روبرو)، به علت تغییر تدریجی سطح مقطع از ابتدا تا گلوگاه افت هد ناچیز است و می توان از ΔH_{i-o} در معادله (I) صرفنظر کرد. همچنین بین مقطع 1 و 2 اختلاف ارتفاعی وجود ندارد و لذا معادله انرژی به صورت زیر ساده می شود:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g}$$

معادله پیوستگی هم عبارتست از:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \rho \bar{V}_1 A_1 = \rho \bar{V}_2 A_2$$

از حل دو معادله بالا با هم نتیجه می شود که:

$$\bar{V}_2 = \left[\frac{2g}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2} \left(\frac{P_1 - P_2}{\rho g} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_t = A_2 \times \left[\frac{2g}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2} \left(\frac{P_1 - P_2}{\rho g} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

برای اصلاح افت ΔH_{A-B} که صرفنظر شده بود و دیگر خطاها می توان ضریب تخلیه ای در نظر گرفت.

$$Q_a = C_d \cdot Q_t \Rightarrow C_d = \frac{Q_a}{Q_t}$$

Q_a دبی عملی (تجربی)، Q_t دبی تئوری و C_d ضریب تخلیه و نتوری متر هستند.

ب) اریفیس متر (Orifice meter)

در عبور جریان از اریفیس (شکل روبرو)، جریان شدیداً منقبض و منبسط شده و جریانهای گردابی شدیدی بعد از اریفیس ایجاد می شود، لذا مقدار ΔH_{i-o} قابل توجه بوده و از آن نمی توان صرفنظر نمود.

$$\frac{\bar{V}_F^2}{2g} - \frac{\bar{V}_E^2}{2g} = \left(\frac{P_E - P_F}{\rho g} \right) - \Delta H_{E-F}$$

برای سادگی در معادلات مقدار ΔH_{1-2} را به صورت تابعی از ضریب هد

هیدرواستاتیک $\left(\frac{P_i - P_o}{\rho g} \right)$ در نظر می گیرند. نتیجه اینکه رابطه بالا تبدیل

$$\frac{\bar{V}_F^2}{2g} - \frac{\bar{V}_E^2}{2g} = K \left(\frac{P_E - P_F}{\rho g} \right) \quad \text{می شود به:}$$

ضریب K بوسیله آزمایش بدست می آید. به همان ترتیبی که در مورد ونتوری متر عمل شد می توان رابطه دبی را برای اریفیس متر نیز بدست آورد.

$$\frac{\bar{V}_F^2}{2g} - \frac{\bar{V}_E^2}{2g} = K \left(\frac{P_E - P_F}{\rho g} \right)$$

$$Q = A_F \cdot \bar{V}_F = A_E \cdot \bar{V}_E$$

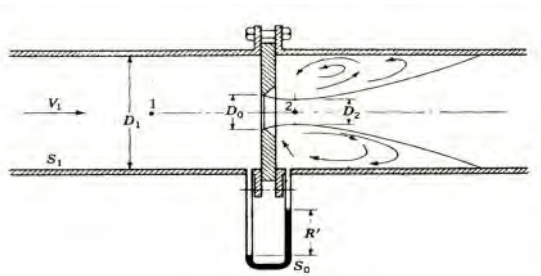
$$Q_a = K A_F \left[\frac{2g}{1 - \left(\frac{A_F}{A_E}\right)^2} \left(\frac{P_E - P_F}{\rho g} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

همچنین می توان ابتدا از ΔH_{i-o} صرفنظر نمود و با اندازه گیری اختلاف فشار دبی عبوری از اریفیس را بصورت تئوری محاسبه نمود. سپس با اطلاع از دبی عبوری واقعی (دبی عملی) ضریب تخلیه اریفیس را به دست آورد.

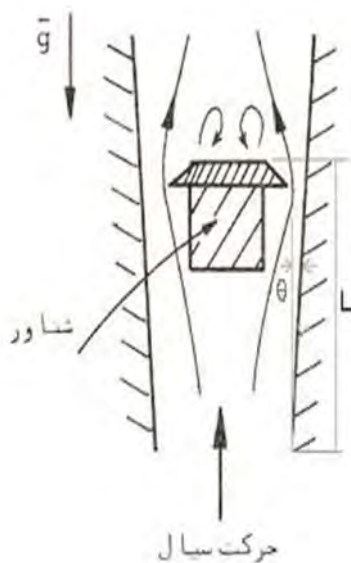
ج) رتامتر (Rota meter)

اگر وسیله اندازه گیری رتامتر باشد (شکل روبرو)، مشاهده می شود که افت فشار بین ورودی و خروجی رتامتر بسیار زیاد بوده و مستقل از دبی جریان است. یکی از علل زیاد بودن افت فشار، ایجاد پدیده جدایی جریان و تشکیل گردابه بعد از شاخص رتامتر است. شدت تشکیل گردابه ها به سرعت سیال در عبور از کنار شاخص بستگی دارد.

به علت ثابت بودن وزن شاخص و نیروی شناوری (ارشمیدس)، باید نیروی دراگ ناشی از جریان سریع سیال پیرامون شاخص رتامتر نیز ثابت بوده و لذا سرعت سیال هم در پیرامون



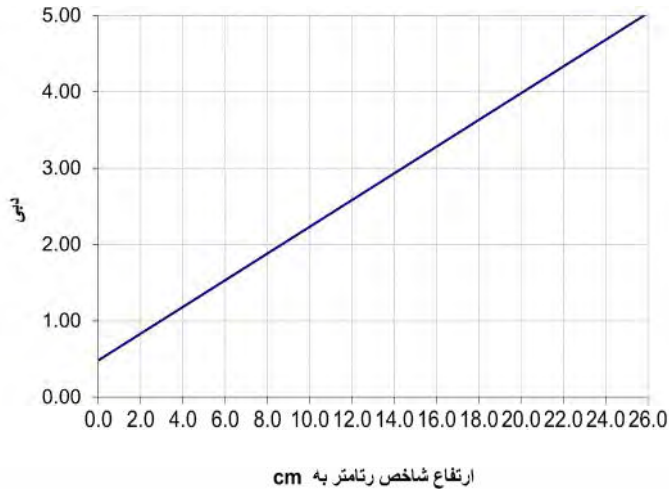
جریان از داخل اریفیس متر



جریان از داخل رتامتر

آن ثابت خواهد بود و در نتیجه برای اینکه با این سرعت ثابت تغییری در دبی ایجاد شود لازم است که سطح مقطع جریان بیشتر شود. این تغییر مقطع می تواند با بالا و پایین رفتن شاخص در لوله ای مخروطی انجام پذیرد.

مطابق شکل زیر اگر شعاع قطعه شاخص R_f و شعاع موضعی استوانه R_t و d فاصله شعاعی بین R_t و R_f باشد. سطح مقطع عبور جریان عبارت است از:



نمونه ای از منحنی مشخصه رتامتِرها

$$A = p(R_t^2 - R_f^2) = 2R_f \cdot p \cdot d$$

$$Q = A \cdot \bar{V}$$

از طرف دیگر با مراجعه به شکل داریم:

$$d = \ell q$$

ℓ ارتفاع شاخص رتامتِر از نقطه ورودی و q نیم زاویه رتامتِر است.

اگر روابط بالا ترکیب شوند رابطه زیر به دست می آید:

$$Q = 2pR_f \cdot \ell q \cdot \bar{V}$$

$$\frac{Q}{V} = (2pR_f q) \cdot \ell$$

از این معادله مشاهده می شود که دبی متناسب با طول ℓ است. البته تجربه نشان می دهد که دبی عبوری از رتامتِرها کاملاً متناسب با ℓ نیست. لذا رتامتِر را باید قبل از استفاده، کالیبره و دبی عبوری جریان را بر حسب ارتفاع شاخص بدست آورد و منحنی مشخصه رتامتِر را رسم نمود.

شرح دستگاه آزمایش:

دستگاه آزمایش از قسمت های زیر تشکیل شده است:

یک عدد ونتوری همگرا- واگرا که در ابتدا (A)، گلوگاه (B) و انتهای آن (C) پیزومترهایی برای اندازه گیری اختلاف فشار نصب شده است. از اختلاف فشار پیزومترهای ابتدایی و گلوگاه (A,B) برای محاسبه دبی و از پیزومترهای ابتدا و انتهایی (A,C) برای محاسبه افت کلی انرژی در ونتوری متر استفاده می شود. پس از ونتوری یک دیفیوزر واگرا قرار دارد که در ابتدا (C) و انتهای آن (D) دو عدد پیزومتر نصب شده و به کمک آنها می توان تغییر فشار در دیفیوزر را اندازه گیری کرد. پس از دیفیوزر در مسیر جریان اریفیس متر قرار داده شده که در ابتدا (E) و انتهای آن (F) دو عدد پیزومتر نصب شده تا اختلاف فشار ورودی و خروجی اریفیس را مشخص کند. سیال پس از عبور از اریفیس ضمن عبور از یک زانویی (G,H)، رتامتِر (H,I) و شیر کنترل به داخل تانک اندازه گیری دبی عملی (تجربی) می ریزد. مشخصات قطر مقاطع هر دستگاه در جدول شماره (۱) آمده است.

جدول شماره ۱: قطر مقاطع مختلف دستگاه آزمایش دبی سنجی (mm)								
A	B	C	D	E	F	G	H	I
26	16	26	51	51	20	51	51	31

قسمت انتهایی تمام پیزومترهای فوق به یک لوله مشترک وصل شده، مقدار فشار هوای داخل این لوله را می توان بوسیله شیر هوایی که در انتهای آن قرار دارد تنظیم نمود.

مجموعه ونتوری متر، اریفیس متر، رتامتِر، لوله های پیزومتر و خط کش های مدرج و لوله هوا بر روی یک پایه فلزی سوار شده اند که بوسیله پیچ های تنظیم موجود در زیر پایه می توان آن را تراز نمود.

روش انجام آزمایش:

در حالیکه شیر بعد از پمپ و شیر کنترل بسته است پمپ را روشن کنید. دستگاه را به کمک پیچ های زیر آن تراز نمایید. سپس شیر بعد از پمپ را باز کنید تا آب وارد لوله ها شود. حال باید پیزومترها کالیبره و تنظیم شوند. برای انجام این کار شیر کنترل را باز کنید تا شناور

رتامتر در بالاترین نقطه ممکن قرار گیرد، در این حال با کمک شیر هوا فشار هوای بالای پیزومترها را چنان تنظیم کنید که پیزومتر (I) روی کمترین عدد باشد. همچنین حبابهای هوای موجود در قسمت‌های مختلف دستگاه را از آن خارج نمایید.

در این حالت کلیه اعداد مربوط به سطح آب در پیزومترها و نیز عدد مربوط به شاخص رتامتر، به همراه اطلاعات مربوط به محاسبه دبی تجربی را در جدول اطلاعات آزمایش یادداشت نمایید.

حال به کمک شیر کنترل، دبی را به تدریج و به دفعات کم کرده و آزمایش را در چندین مرحله تکرار نمایید. در پایان آزمایش شیر کنترل دستگاه و شیر بعد از پمپ را کاملاً بسته و پمپ را خاموش نمایید.

محاسبات:

با استفاده از نتایج بدست آمده، برای تمام مراحل:

- ۱- مقدار دبی عملی (Q_a) را محاسبه نمایید.
- ۲- مقدار دبی تئوری (Q_t) را برای ونتوری متر محاسبه و با مقدار دبی عملی بدست آمده مقایسه کنید. ضریب تخلیه ونتوری متر را بدست آورید.
- ۳- مقدار دبی تئوری را برای اریفیس محاسبه و با مقدار دبی عملی بدست آمده مقایسه کنید. ضریب تخلیه اوریفیس را بدست آورید.
- ۴- منحنی تغییرات افت فشار ΔH_{i-o} را برای هر یک از وسایل بالا (وانتوری، دیفیوزر، اریفیس، زانو و رتامتر) بر حسب هد جنبشی ورودی هر وسیله ($V_i^2/2g$)، در یک نمودار رسم نمایید. در مورد نمودار بدست آمده بحث کنید.
- ۵- منحنی مشخصه رتامتر را رسم نموده و با منحنی داده شده در دستور کار مقایسه کنید.

سوالات:

- ۱- با مطالعه فنی هر یک از وسایل اندازه گیری دبی بکار گرفته شده در این دستگاه از لحاظ ساختمان داخلی و نحوه ساخت صنعتی آنها، یک نتیجه گیری کلی برای انتخاب آنها در صنعت بیان نمایید.
- ۲- چرا پیزومترهای مربوط به اریفیس متر مرتب در حال نوسان هستند؟
- ۳- الف- آیا می توان از رتامتری که برای اندازه گیری دبی آب در دمای ۲۰ درجه کالیبره شده برای اندازه گیری دبی سیال دیگری استفاده نمود؟ چرا؟ ب- در صورت ناچاری پیشنهاد شما چیست؟

آزمایش اندازه گیری نیروی فشار هیدرواستاتیک

هدف:

هدف از انجام این آزمایش اندازه گیری نیروی ناشی از فشار آب بر یک سطح و تعیین نقطه اثر این نیرو (مرکز فشار) است.

تئوری آزمایش:

هنگامیکه جسمی در سیالی غوطه‌ور باشد (شکل روبرو) نیروی وارد بر یک سطح صاف آن مانند A که نسبت به سطح آزاد سیال دارای زاویه Q است از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\left. \begin{aligned} F &= \rho g \sin Q \int_A y dA \\ \bar{y} &= \frac{1}{A} \int_A y dA \end{aligned} \right\} \Rightarrow F = \rho g \sin Q \bar{y} A$$

y فاصله المان dA تا محور oo (سطح آزاد سیال)، $\bar{y}$ (روی شکل) فاصله مرکز سطح تا محور oo و r دانسیته سیال است. مرکز فشار، نقطه‌ای است که این نیرو در آن نقطه عمل می‌نماید. بنابراین ممان این نیروی متمرکز در مرکز فشار برابر ممان کل نیروی گسترده روی سطح حول محور oo است. پس:

$$M = \int_A \rho g \sin Q y dA = \rho g \sin Q \int_A y^2 dA = F y_{cp}$$

M ممان حاصل از نیروی وارد بر سطح و y_{cp} (روی شکل) فاصله مرکز فشار نیرو تا محور oo است.

حال با جایگزین کردن مقدار F در رابطه بالا نتیجه می‌شود که:

$$\rho g \sin Q \bar{y} A y_{cp} = \rho g \sin Q \int_A y^2 dA$$

$$y_{cp} = \frac{1}{A \bar{y}} \int_A y^2 dA$$

مقدار $\int_A y^2 dA$ را ممان اینرسی سطح حول محور oo می‌نامند و با I_{oo} نشان می‌دهند. پس:

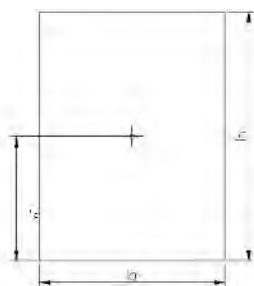
$$y_{cp} = \frac{I_{oo}}{A \bar{y}} \quad (a)$$

و این ممان اینرسی حول محور oo را می‌توان به ممان اینرسی حول محور تقارن عبور کرده از مرکز سطح (I_{GG}) منتقل نمود.

$$I_{GG} = I_{oo} - \bar{y}^2 A \quad (b)$$

از ترکیب روابط (a) و (b) نتیجه می‌شود که:

$$y_{cp} = \frac{I_{GG}}{A \bar{y}} + \bar{y}$$



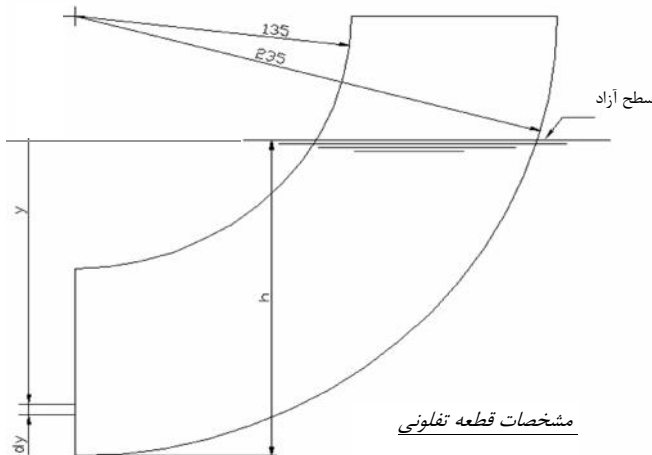
برای سطوح مستطیلی (مثل شکل بالا) شکل $I_{GG} = \frac{bh^3}{12}$ و $y_G = \frac{h}{2}$ (ارتفاع مرکز سطح) است.

با توجه به اینکه I_{GG} مقدار مثبتی است و A و $\bar{y}$ هم مثبت هستند در نتیجه عبارت $\frac{I_{GG}}{A \bar{y}}$ مقدار مثبتی خواهد بود. نتیجه آن که y_{cp}

همواره کمی پایین‌تر از مرکز سطح قرار دارد.

شرح دستگاه آزمایش:

دستگاه آزمایش از یک قطعه تفلونی ربع دایره‌ای تشکیل شده که داخل ظرفی محتوی سیال (آب) قرار دارد و تا ارتفاع دلخواه می تواند غوطه‌ور باشد. در محل مرکز قسمت ربع دایره‌ای، قطعه به وسیله دو تیغه متصل به آن بر روی تکیه‌گاهی نصب می شود که می تواند آزادانه حول این تکیه‌گاه دوران نماید. به محوری که دو تکیه‌گاه را به هم متصل می‌کند بازویی وصل شده و در انتهای بازو کفه‌ای آویزان می شود که با قراردادن وزنه بر روی این کفه مقدار گشتاور ایجاد شده توسط نیروی هیدرواستاتیکی حول تکیه‌گاه را اندازه‌گیری می‌کنند.



فشار کل ناشی از سیال بر روی سطوح خمیده حول محور اتکاء هیچ ممائی اعمال نمی‌کند و ممان ایجاد شده فقط ناشی از فشار سیال بر روی سطح مسطح غوطه‌ور است. هد (h) آب بطور مستقیم بر روی صفحه مدرج در هر ارتفاع دلخواه قابل خواندن است.

روابط کلی مقدار نیروی هیدرواستاتیک و مرکز فشار آن را به ما می‌دهد. مقدار نیرو هم با کمک دستگاه بصورت تجربی و هم از طریق معادلات مربوطه و انجام محاسبات بدست می‌آید.

$$B = 93mm \text{ (عرض قطعه)}$$

$$R_1 = 135mm \text{ (شعاع کوچکتر)}$$

$$R_2 = 235mm \text{ (شعاع بزرگتر)}$$

$$H_b = R_2 - R_1 = 100mm \text{ (ارتفاع صفحه)}.$$

المائی از جداره را در عمق y و به ضخامت dy در نظر بگیرید. طبق تئوری ذکر شده مقدار نیرو، گشتاور و مرکز فشار، ناشی از فشار هیدرواستاتیک آب برابر است با:

$$dF = rgHdA$$

$$H = y$$

$$w = rg$$

$$dF = wydA$$

$$F = w \int ydA$$

$$**F = w\bar{y}A**$$

$$dM = ydF = wy \times ydA$$

$$dM = wy^2dA$$

$$M = w \int y^2dA$$

$$M = wI_{OO}$$

$$I_{OO} = I_{GG} + \bar{y}^2A$$

$$**M = w(I_{GG} + \bar{y}^2A)**$$

$$M = Fy_{cp}$$

$$wI_{GG} + w\bar{y}^2A = wA\bar{y} \times y_{cp}$$

$$**y_{cp} = \frac{I_{GG}}{A\bar{y}} + \bar{y}**$$



روش انجام آزمایش:

دستگاه را بر روی پایه فلزی آن مستقر کنید و به کمک پیچ‌های تنظیم، آن را تراز نمایید. ابتدا باید دستگاه را کالیبره و برای آزمایش آماده نمود. نحوه کالیبره کردن دستگاه بدین صورت است که در شرایطی که مخزن کاملاً خالی از سیال است و نیز کفه انتهایی اهرم از جای خود خارج شده، وزنه‌ای را که در انتهای اهرم نصب شده و می‌تواند بر روی آن عقب و جلو برود را آنقدر جابجا می‌کنیم تا سوزنهای شاخص تعادل روبروی هم و اهرم در حالت افقی قرار گیرد. در چنین حالتی دستگاه کالیبره و برای آزمایش آماده شده است.

تذکر: در طول آزمایش نباید تغییری در محل قرار گرفتن وزنه انتهایی اهرم بوجود آورد. برای انجام آزمایش کفه را در محل خود گذاشته و تعدادی وزنه به آن اضافه کنید. به آرامی داخل مخزن دستگاه آب اضافه کرده تا در شرایطی که ظرف تقریباً پُر است تعادل اهرم برقرار شود (شاخص تعادل مطابقت سوزنهای تعادل است). مقدار وزنه‌ها و نیز ارتفاع آب را قرائت کرده و در جدول اطلاعات آزمایش یادداشت نمایید. به دفعات چند گرم از وزنه‌ها را کم کرده و با باز کردن شیر سوزنی تخلیه مخزن، تعادل اهرم را برقرار نموده و اطلاعات خوسته شده را یادداشت نمایید. آزمایش را برای ارتفاعهای مختلف تکرار نمایید.

محاسبات:

- ۱- منحنی تغییرات M بر حسب h را رسم نمایید.
- ۲- مقدار نیروی وارد از طرف آب بر صفحه مسطح (F_t) را در دو حالت $H_b < h$ و $H_b > h$ محاسبه کرده و نقطه اثر آن را بدست آورید.
- ۳- برای کلیه مراحل آزمایش، منحنی تغییرات ممان نیروی آب بر روی صفحه را بر حسب ممان عملی ($M_e = mg \times 0.430$) رسم کنید.

سوالات:

- ۱- روند تغییرات گشتاور حاصل از نیروی فشار هیدرواستاتیک را در دو حالت $H_b < h$ و $H_b > h$ مقایسه کنید.
- ۲- دلایل عدم تاثیر نیروهای وارد بر سطوح منحنی و سطوح جانبی قطعه مورد آزمایش را بر نتیجه آزمایش بیان کنید.
- ۳- در رابطه با نیروی شناوری (بویانسی) و اثر آن از نظر ایجاد گشتاور حول محوری که روی تکیه گاه قرار دارد آنچه می‌دانید بنویسید. به طور خاص بنویسید چرا در محاسبات از آن خبری نیست؟

آزمایش

بررسی عملکرد پمپ گریز از مرکز (سانتریفوژ)

هدف:

هدف از انجام این آزمایش بررسی طرز کار و چگونگی عملکرد پمپ گریز از مرکز و بررسی قوانین تجربی مربوط به پمپها است.

مقدمه:

برای جابجایی مایعات از یک نقطه به نقطه دیگر بدون استفاده از نیروی ثقل نیاز به استفاده از پمپ است. پمپها به سیال انرژی مکانیکی می‌دهند و امکان انتقال آنها را در مجاری بسته فراهم می‌کنند.

استفاده از پمپها در صنعت بسیار گسترده است و بطور کلی پمپهای مورد استفاده به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

۱- پمپهای گریز از مرکز

۲- پمپهای رفت و برگشتی

۳- پمپهای دورانی (پمپ دنده‌ای)

طبقه‌بندی فوق وابسته به نوع جابجایی سیال است و هر طبقه‌بندی به زیرگروه‌های دیگری تقسیم می‌شود. بعنوان نمونه پمپهای گریز از مرکز بسته به چگونگی انتقال انرژی و هدایت سیال داخل پمپ به انواع توربینی (شعاعی)، محوری و جریان مختلط تقسیم می‌شوند. این در شرایطی است که ورود سیال به انواع این پمپها بصورت محوری صورت می‌گیرد. پمپها می‌توانند دارای یک پروانه یا بیشتر نصب شده بر روی یک شافت (معروف به پمپهای چند طبقه) باشند. یک پمپ گریز از مرکز دارای اجزای اصلی زیر است:

۱- لوله مکند ۲- پروانه ۳- پوسته ۴- لوله رانش ۵- شیر یکطرفه قبل و بعد از پمپ

تئوری آزمایش:

بدلیل مغشوش و سه‌بعدی بودن حالت جریان در داخل پمپها تحلیل تئوری آن بسیار پیچیده است و لذا تاکنون بسیاری از مطالعات انجام شده بر روی پمپها بصورت تجربی صورت پذیرفته است.

منحنی‌های مشخصه که بطور تجربی بدست می‌آیند مشخص کننده وضعیت پمپها هستند. با استفاده از این منحنی‌ها می‌توان رابطه بین پارامترهای مختلف مثل هد، دبی، قدرت و راندمان در حالات مختلف را بدست آورد (مثل شکل روبرو). مهم‌ترین این منحنی‌ها عبارتند از:

۱- منحنی هد بر حسب دبی در دور ثابت (H-Q).

۲- منحنی قدرت بر حسب دبی در دور ثابت (P-Q).

۳- منحنی راندمان بر حسب دبی در دور ثابت (h-Q).

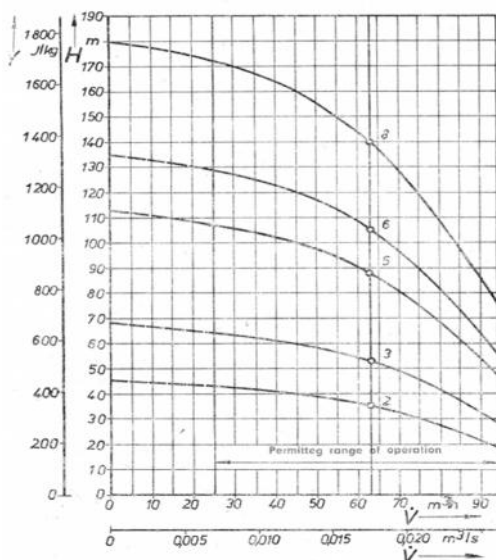
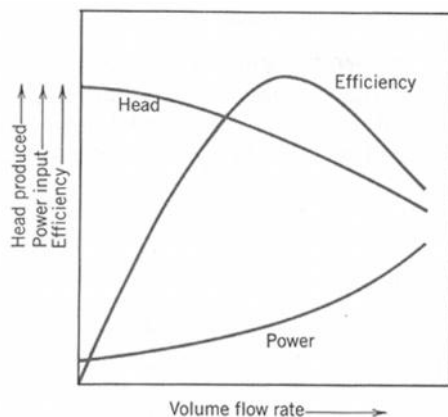
۴- منحنی‌های انتخاب پمپ که توسط کارخانه سازنده پمپ تهیه و در اختیار مشتریان قرار می‌گیرد (مانند شکل روبرو).

استفاده از قوانین مربوط به آنالیز بعدی و تشابه برای پمپها وابستگی گروههای بدون بعد مربوط به هد و قدرت را به گروههای دیگر بصورت زیر بدست می‌دهد:

$$\frac{H}{w^2 D^2} = f\left(\frac{Q}{wD^3}, \frac{rWD^2}{m}\right) \quad \text{و} \quad \frac{P}{rw^3 D^5} = g\left(\frac{Q}{wD^3}, \frac{rWD^2}{m}\right)$$

H عبارت است از انرژی بر واحد جرم بر حسب m^2/Sec^2 ، P قدرت بر حسب W، D قطر پروانه پمپ بر حسب m و w دور پمپ بر حسب rad/Sec است.

مطالعات تجربی پمپها نشان داده‌اند که نقش گروه بدون بعد $\frac{rWD^2}{m}$ ، که فرمی



از عدد رینولدز است، مهم نیست، چون به دلیل اغتشاشات گسترده جریان در داخل پمپ نقش نیروی لزجت در مقایسه با اینرسی ناچیز است. در نتیجه هر گروه بدون بعد فقط به یک گروه بدون بعد دیگر (معروف به ضریب جریان) وابسته است. لذا اگر:

$$\frac{Q_1}{w_1 D_1^3} = \frac{Q_2}{w_2 D_2^3} \Rightarrow \frac{P_1}{r_1 w_1^3 D_1^5} = \frac{P_2}{r_2 w_2^3 D_2^5} \quad \text{and} \quad \frac{H_1}{w_1^2 D_1^2} = \frac{H_2}{w_2^2 D_2^2}$$

در نتیجه با استفاده از نتایج آزمایشگاهی مربوط به یک پمپ می توان منحنی های مشخصه پمپ های مشابه دیگر (از نظر هندسی) در اندازه و یا دور و یا شرایط دیگر از نظر خواص سیال مورد پمپاژ را بدست آورد.

شرح دستگاه آزمایش:

دستگاه آزمایش شامل قسمتهای زیر است:



دستگاه آزمایش پمپ سانتریفوژ

۱- مخزن اصلی آب

۲- لوله مکش

۳- پمپ گریزازمرکز

۴- لوله رانش

۵- شیر کنترل دبی بر روی لوله رانش

۶- الکتروموتور برای تأمین توان

۷- فشارسنجها برای اندازه گیری هد آب ورودی به پمپ و خروجی از آن

۸- مخزن بالایی که در انتهای آن سرریزی برای اندازه گیری دبی پمپ نصب شده است. این

سرریز قبلاً کالیبره شده و منحنی دبی بر حسب ارتفاع آب پشت سرریز در شکل صفحه بعد

نشان داده شده است.

۹- جعبه کنترل سرعت دینامومتر الکتریکی که بوسیله آن و با استفاده از یک ظابط می توان دور پمپ را بصورت درصدی از حداکثر دور (3000 rpm) تنظیم نمود.

۱۰- کوپل سنج که بر روی پوسته دینامومتر نصب شده است. مقدار کوپل عکس العملی دینامومتر بصورت دیجیتال بر روی تابلو کنترل قرائت می شود.

۱۱- ولت متر و آمپر متر نصب شده بر روی تابلو کنترل، که ولتاژ و آمپر ورودی به دینامومتر را نشان می دهند.

روش انجام آزمایش:

شیر بعد از پمپ را بسته و موتور را روشن کنید. سپس شیر را بطور کامل باز کنید و دور پمپ را روی ۶۰٪ تنظیم نموده و مقادیر زیر را قرائت و در جدول اطلاعات آزمایش یادداشت کنید.

۱- ولتاژ (V) ۲- آمپر (I) ۳- هد مکش (HS) ۴- هد رانش (HD) ۵- دور موتور (N) ۶- کوپل (T) ۷- ارتفاع آب پشت سرریز (h)

شیر کنترل دبی را طی چند مرحله ببندید و در هر مرحله تمام مقادیر فوق را قرائت و یادداشت کنید.

سپس دور را تغییر داده و برای دوره های ۸۰٪ و ۱۰۰٪ نیز آزمایش را تکرار نمایید.

محاسبات:

۱- برای همه مراحل آزمایش قدرت محوری ($P_M = T \times W$)، قدرت آبی ($P_W = H \times Q$) و قدرت الکتریکی ($P_E = V \times I$) را بر حسب وات محاسبه کنید.

۲- منحنی H-Q بر حسب متر آب و Q بر حسب لیتر بر دقیقه را برای هر دور پمپ در یک نمودار رسم کنید.

۳- منحنی تغییرات قدرت محوری بر حسب دبی (P-Q) را در دوره های مختلف رسم کنید.

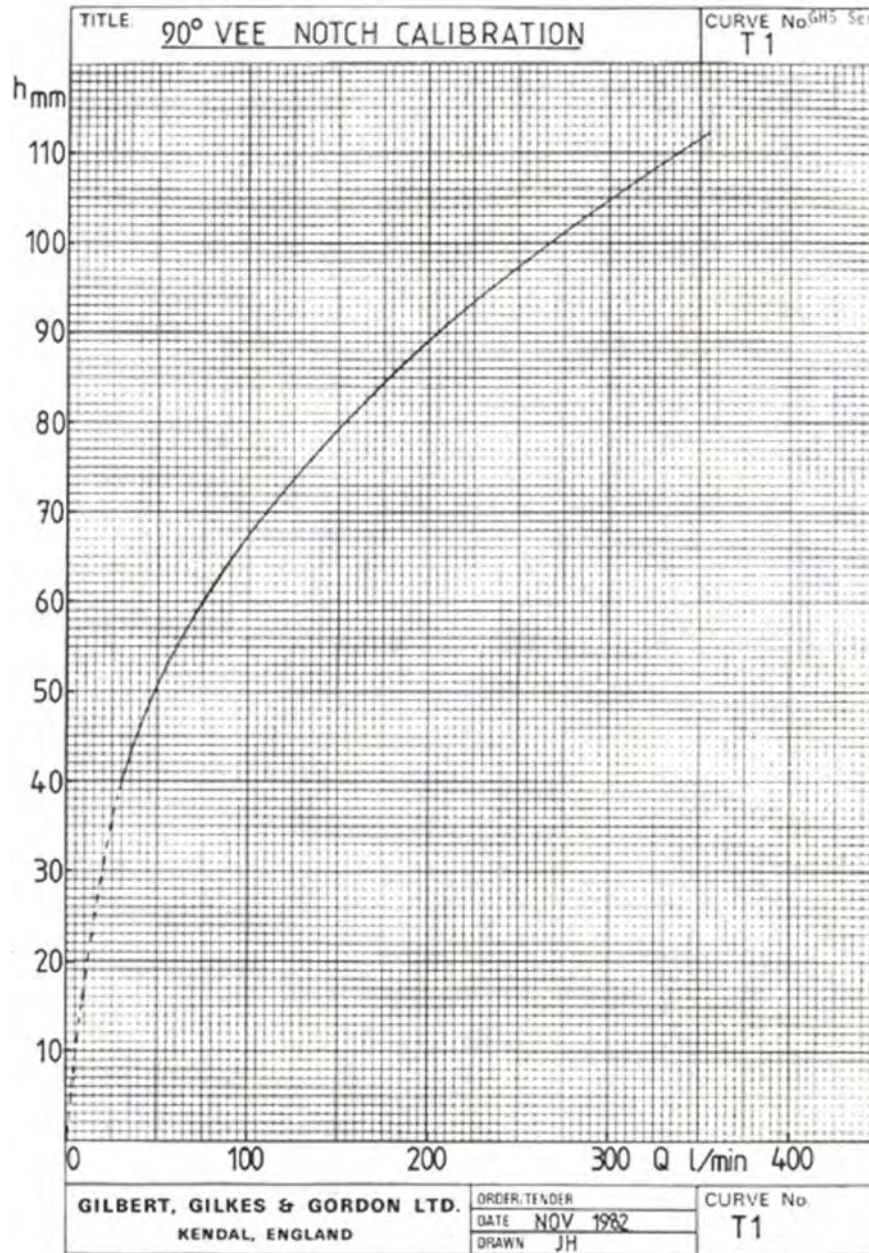
۴- منحنی راندمان محوری (η_M)، راندمان الکتریکی (η_E) و راندمان کلی (η_O) بر حسب دبی را برای دوره های مختلف رسم کنید.

سوالات:

۱- چرا قبل از روشن کردن پمپ باید شیر بعد از پمپ را بست؟

۲- چرا قطر لوله مکش اغلب بزرگتر از قطر لوله تخلیه در نظر گرفته می شود؟

- ۳- پمپ با مکش مضاعف چیست؟ اصولاً به چه منظور پمپ با مکش مضاعف ساخته می شود؟
- ۴- تعداد طبقات در پمپ‌ها چیست؟ چرا پمپ را چند طبقه می‌سازند؟
- ۵- پمپ‌های سری و موازی چه مواقعی مورد استفاده قرار می گیرند؟
- ۶- با رسم یک شکل شماتیک از مسیر پمپاژ از یک منبع در ارتفاع پایین به منبعی در ارتفاع بالاتر انواع هدهای استاتیکی را که وجود دارند را نشان داده و شرح دهید.



منحنی کالیبراسیون سرریز ۹۰ درجه مربوط به آزمایش پمپ گریز از مرکز