

آزمایش جت آب^۱

تهیه و تنظیم : پارسا امینی

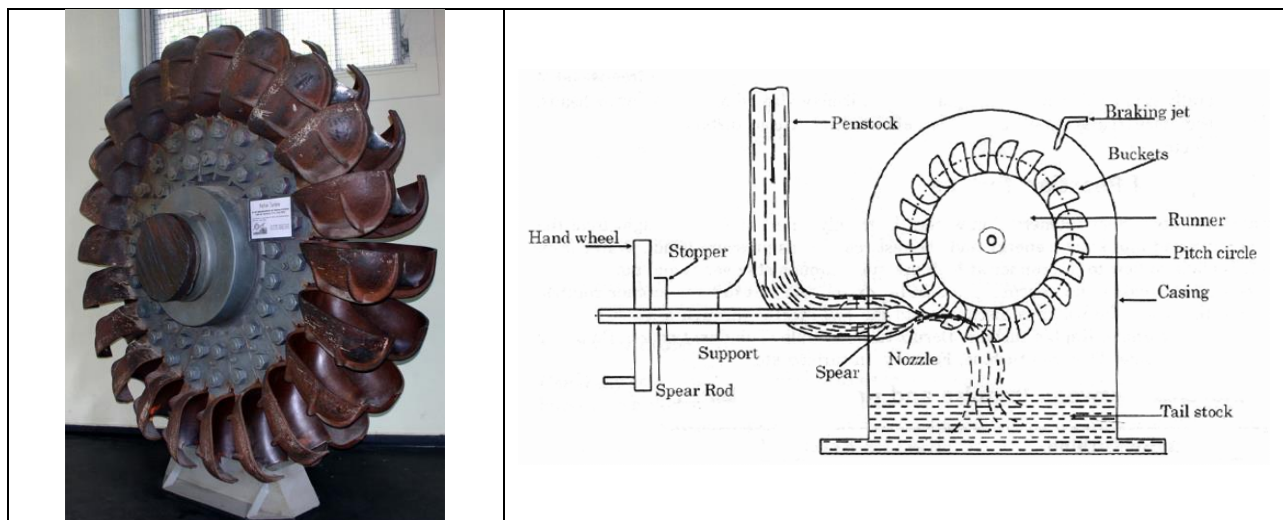
هدف آزمایش

هدف از این آزمایش بررسی نیروهای واکنش ناشی از تغییر حرکت جریان سیال هنگام برخورد یک جت آب به صفحه صاف یا سطح خمیده است.

مقدمه

توربین های آبی به طور گسترده در سراسر جهان برای تولید برق مورد استفاده قرار می گیرند. در نوع توربین آبی که به آن چرخ پلتون^۲ گفته می شود ، یک یا چند جت آب به صورت مماس به طرف تیغه ها یا سطل هایی که به لبه دیسک توربین چسبانده شده اند هدایت می شود. تأثیر آب روی تیغه ها گشتاور بر چرخ ایجاد می کند و باعث چرخش آن و ایجاد قدرت می شود. اگرچه این مفهوم در اصل ساده است ، اما چنین توربین ها می توانند بازده قابل توجهی را با راندمان بالا تولید کنند. قدرت های بیش از ۱۰۰ مگاوات و بازده هیدرولیک بیشتر از ۹۵٪ ، غیر معمول نیست.[1]

برای پیش بینی خروجی چرخ پلتون و برای تعیین سرعت چرخش بهینه آن ، باید درک کرد که چگونه از بین رفتن جت نیرویی بر روی سطل ها ایجاد می شود و چگونگی ارتباط نیرو با سرعت جریان حرکت در جت. در این آزمایش ، نیروی تولید شده توسط یک جت آب که به یک صفحه صاف یا یک فنجان نیم کره ای برخورد می کند ، اندازه گیری می شود و نتایج با سرعت جریان محاسبه شده در جت مقایسه می شود[1].



شکل ۱. شماتیکی از یک چرخ پلتون به همراه یک نمونه واقعی از آن[2]

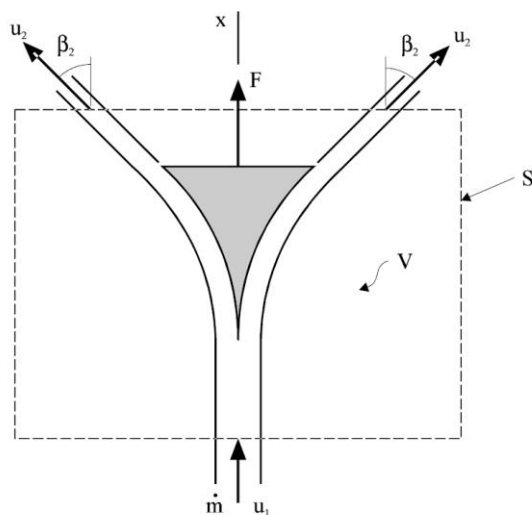
^۱ Water Jet

^۲ Pelton Wheel

تئوری آزمایش

وقتی یک جت آب به مانعی برخورد کرده و امتداد سرعت آن تغییر می کند، طبق رابطه مومنوم خطی نیرویی بر مانع اعمال می شود. مانع متقارنی را مطابق شکل در نظر بگیرید که جت آب با دبی جرمی \dot{m} بر حسب $\left(\frac{kg}{s}\right)$ و با سرعت u_0 به آن برخورد کرده و به اندازه β_2 تغییر جهت می دهد. (دبی جرمی از حاصلضرب دبی حجمی در جرم مخصوص سیال بدست می آید: $\dot{m} = \rho \times Q$) بنابراین، با صرف نظر از تأثیر جاذبه، جهت تغییر جت فقط به دلیل نیروی ایجاد شده در اثر فشار و تنش برشی در سطح پره است. اگر این نیرو بر روی جت در جهت x توسط F_j نشان داده شود، در این صورت از معادله حرکت در جهت x خواهیم داشت:

$$F_j = \dot{m}(u_2 \cos \beta_2 - u_1) \quad (1)$$



شکل ۲. برخورد جت آب به مانع متقارن [1]

نیروی اعمال شده بر روی تیغه مساوی با F_j و در خلاف جهت آن می باشد:

$$F = \dot{m}(u_1 - u_2 \cos \beta) \quad (2)$$

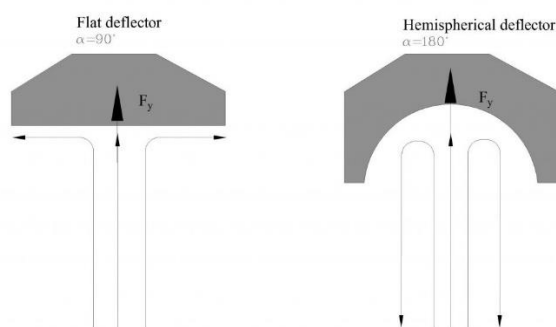
بنابراین با داشتن مقادیر و جهت های سرعت ورودی و خروجی می توان نیروی وارد بر جسم از طرف سیال را محاسبه کرد و رابطه (۲) را برای حالت های خاص ساده نمود.

برخورد جت آب به مانع مسطح

در صورتی که سطح مانع در مقابل جریان مسطح و عمود بر محور x مطابق شکل ۳ ب باشد $\beta_2 = 90^\circ$ است و بنابراین $\cos \beta_2 = 0$ ؛ لذا رابطه (۲) به صورت زیر در می آید:

$$F = \dot{m}u_1 = \rho Qu_1 \quad (۳)$$

در برخی از نقاط برای پخش آب و مستهلک کردن انرژی از مانع مسطح در مقابل جریان استفاده می شود که نیروی وارده به مانع مسطح با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می شود. قابل ذکر است که این نوع موانع برای دبی های زیاد به علت فرسایش بالا و ضریب بازدهی پایین، کمتر استفاده می شوند.



شکل ۳. الف- مانع مسطح، ب- مانع فنجانی [1]

برخورد جت آب به مانع نیمکره ای:

در صورتی که سطح مانع در جریان آب مطابق شکل ۳ به شکل یک نیمکره توخالی (فنجانی شکل) باشد، زاویه خروج $\beta_2 = 180^\circ$ بوده و در نتیجه $\cos \beta_2 = -1$ ؛ بنابراین نیروی وارده به مانع در این حالت برابر است با:

$$F = \dot{m}(u_1 + u_2) \quad (۴)$$

اگر از تاثیر تغییر ارتفاع بر روی سرعت جت و نیز کاهش سرعت به واسطه اصطکاک تیغه صرف نظر شود، آنگاه $u_1 = u_2$ ؛ در نتیجه:

$$F = 2\dot{m}u_1 = 2\rho Qu_1 \quad (۵)$$

این نیرو بیشترین مقدار ممکن بر روی یک مانع نیمکره ای می باشد. این مقدار نیرو، دو برابر نیروی اعمال شده بر روی مانع مسطح است.

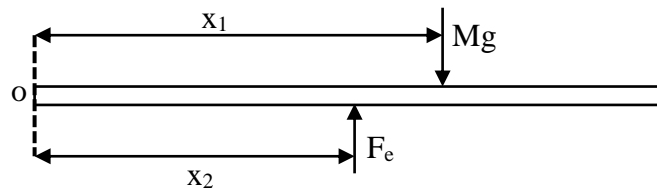
با نوشتن براینده گشتاور های حاصل از نیرو های وارده به اهرم بالای دستگاه، می توان رابطه (۶) را نوشت:

$$F_e \times L_o = W \times L_w \quad (6)$$

در صورتی که سرعت خروج آب از شلیپوره^۳ u_0 باشد و فاصله شلیپوره از مانع برابر Z باشد، سرعت برخورد آب با مانع مسطح یا فنجان‌ی از رابطه (۷) بدست می آید:

$$u^2 = u_0^2 - 2gZ \quad (7)$$

با استفاده از جرم وزنه متحرک و فاصله آن از نقطه اتکاء اهرم و فاصله مانع تا نقطه اتکاء اهرم، نیروی تجربی (F_e) موثر بر مانع بدست می آید. برای محاسبه آن به شکل استفاده می شود.



شکل ۴. نیروهای اعمال شده بر روی اهرم

رابطه گشتاور را حول نقطه O می نویسیم:

$$\sum M_o = 0 \rightarrow F_e \cdot x_2 = Mg \cdot x_1 \rightarrow F_e = Mg \cdot \frac{x_1}{x_2} \quad (8)$$

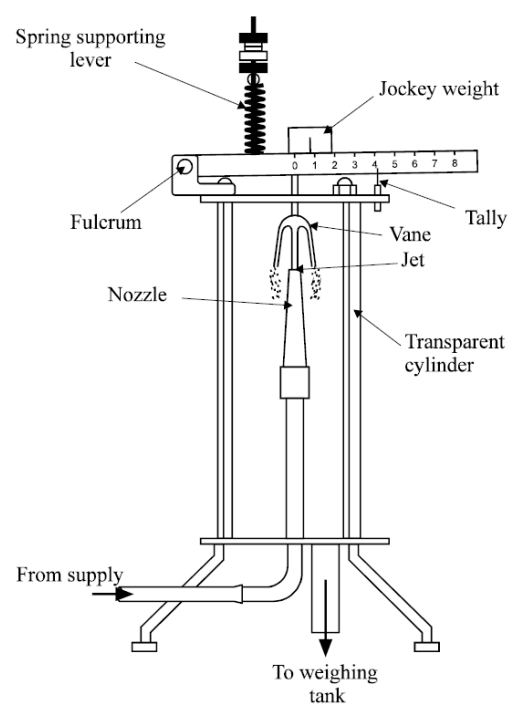
x_1 : فاصله وزنه متحرک از O (لولا)

x_2 : فاصله مانع از O (لولا)

در رابطه (۸) مقدار شتاب گرانش ۹٫۸۱ متر بر مجذور ثانیه است و x جابه جایی وزنه متحرک بر حسب متر است. با توجه به واحد های فوق، مقدار نیروی تجربی موثر بر حسب نیوتن بدست خواهد آمد.

^۳ Nozzle

شکل دستگاه



شکل ۵. دستگاه آزمایش برخورد جت آب به اجسام [1]

شرح دستگاه:

وسیله مورد آزمایش در شکل نشان داده شده است. مانع مسطح یا نیکره ای در امتداد عمود بر مسیر جت در داخل ظرفی استوانه ای و شفاف قرار می گیرد. جت آب بعد از برخورد با مانع تعادل آن را بر هم میزند. توسط جا به جا کردن وزنه ای بر روی یک اهرم به مانع می توان مجددا مانع را در حالت اولیه متعادل نمود و تعییت وضعیت تعادل توسط یک شاقول متصل به اهرم معلوم می شود.

- قطر دهانه شیپوره $d = 10 \text{ mm}$
- فاصله مرکز مانع تا نقطه اتکاء اهرم (لولا) $L_0 = 175 \text{ mm}$
- فاصله مانع تا دهانه شیپوره $Z = 28 \text{ mm}$ و فاصله مانع کروی تا دهانه شیپوره $Z = 17.5 \text{ mm}$

روش انجام آزمایش

- ۱- مانع مورد نظر (مانع فنجان یا مسطح) را با استفاده از آچار مناسب در داخل دستگاه نصب نمایید.
- ۲- با استفاده از وزنه ای که بر روی اهرم سوار است دستگاه را تراز می کنیم به گونه ای که اهرم در حالت تعادل کاملاً افقی باشد (با تنظیم شیارهای حک شده روی شاهین).
- ۳- دبی را به میزان حداکثر افزایش داده و آن را اندازه می گیریم.
- ۴- بعد از تنظیم دستگاه و کامل باز شیر خروجی پمپ جت آب با حداکثر دبی خود با مانع برخورد می کند اهرم را از وضعیت تعادل اولیه خود خارج می کند. برای اینکه اهرم دوباره به حالت تعادل برسد وزنه روی اهرم را جابه جا کرده و موقعیت شیار نشانگر وزنه را بر روی اهرم یادداشت می کنیم.
- ۵- دبی را کاهش داده، آن را اندازه می گیریم و گام چهارم را انجام می دهیم.
- ۶- گام های ۳ و ۴ و ۵ را برای مانع مسطح و فنجان تکرار می کنیم به صورتی که برای هر مانع ۶ بار اندازه گیری دبی Q و فاصله L_w شده باشد.
- ۷- باید توجه داشت که اندازه گیری سرعت برخورد آب با مانع عملاً مشکل است اما با داشتن دبی جریان و سطح مقطعی از جت آب می توان سرعت جت را در آن مقطع تعیین نموده و با داشتن فاصله بین مقطع معلوم و مانع سرعت برخورد جت را تعیین نمود.

قبل از شروع آزمایش می بایست با قرار دادن شیار وزنه متحرک روی فاصله صفر با مهر تنظیم بالای فنر اهرم را شاقول تراز نموده، سپس آزمایش را در دو مرحله یکبار با مانع مسطح و بار دیگر با مانع نیمکره ای انجام داد.

نتایج و محاسبات

- ۱- با داشتن دبی و سطح مقطع شیپوره، سرعت خروج آب از شیپوره (u_0) را بدست آورید و با کمک رابطه (۷)، سرعت برخورد جت آب به مانع (u) را محاسبه کنید. با استفاده از روابط (۳) و (۵) نیروی تئوری موثر بر هر مانع را حساب کنید.
- ۲- منحنی F_e و F_t هر دو مانع را بر حسب دبی رسم نمایید.
- ۳- منحنی تغییرات $F_e - F_t$ را برای هر یک از مانع ها رسم کنید (F_e محور افقی و F_t محور قائم). منحنی بهترین خط را برازش دهید و معادله آن را بنویسید. در صورتی که خط برازش منحنی های رسم شده از مبداء عبور نمی کند، علت را شرح دهید.
- ۴- با مقایسه نتایج اندازه گیری شده کنترل کنید که آیا نیروی مهار شده توسط مانع فنجان دو برابر مانع مسطح است یا خیر؟
- ۵- اگر سرعت خروج آب در یک مانع فرضی در نصف سطح مقطع آن معادل $1.5u$ و در نصف دیگر معادل $0.5u$ باشد، چه تغییری در نتایج حاصل خواهد شد.
- ۶- نقش نیروی های اصطکاکی را در هر مانع بررسی کنید.
- ۷- با توجه به محاسبات انجام شده، کدام یک از مانع ها را برای استفاده در توربین ها پیشنهاد می کنید. علت را توضیح دهید.

- [1] Fyrillas M. Impact of a Jet [Internet]. 2020 [cited 30 July 2020]. Available from: <http://staff.fit.ac.cy/eng.fm/classes/amee202/Fluids%20Lab%20Impact%20of%20a%20Jet.pdf>
- [2] Pelton Wheel Impulse Turbine [Internet]. 2005 [cited 30 July 2020]. Available from: <https://4mechtech.blogspot.com/2014/06/principle-of-impulse-turbine.html>