**ساخت یک نمونه آزمایشگاهی توربین پلتون، انجام آزمایش و بررسی نتایج آن**

**سیدمحمدرضا حسینی**1**، محمدحسین مصباحی**2**\*، مهدی سعیدی انارکی**1

 1- کارشناسی، مهندسی خودرو، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران

2- مربی ، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران

\* تهران، صندوق پستی 1696813661 ، mesbahi@sru.ac.ir

**چکیده**

توربین آبی یک توربوماشین است که انرژی بالقوه جریان موجود در آب را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند. توربین پلتون لوله مکش ندارد بنابراین از نوع توربین های بدون عکس‌العمل[[1]](#footnote-1) است.

آب با فشار و انرژی پتانسیل بالا پشت نازل توربین محبوس گردیده است. هد[[2]](#footnote-2) بالای آب در فشار اتمسفر تبدیل به انرژی جنبشی زیادی می شود و آب پس از برخورد به سطلک هایی[[3]](#footnote-3) که به چرخ پلتون متصل هستند انرژی خود را به کار شفت[[4]](#footnote-4) تبدیل می کند.

ما با ساخت این توربین آزمایشگاهی و انجام تست های مختلف بر روی آن، نتایجی را مورد بررسی قرار دادیم که در ادامه به آن اشاره شده است. برای مثال به ازای سرعت جت های متفاوت، راندمان را به دست آوردیم و منحنی های مشخصه توربین پلتون را رسم کردیم و به بررسی داده های حاصل از این نمودار ها و مقایسه آن ها در دبی های مختلف پرداختیم.

**کلید‌واژگان**

توربین پلتون، توربین ضربه ای، توربوماشین، توربین آبی

**Build a laboratory sample of the Pelton turbine, test and analyze the results SeiedMohammadreza Hoseini**1**, Mohammadhossein Mesbahi**1\***, Mehdi Saeedi Anaraki**1

1- Department of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

\* P.O.B. 1696813661 Tehran, Iran, mesbahi@sru.ac.ir

**Abstract**

A water turbine is a turbomachine that converts the potential energy of a stream of water into mechanical energy.
And the Pelton turbine is a non-reactive turbine due to the lack of suction pipe. Water with high pressure and potential energy is trapped behind the turbine nozzle. the high head water converts to a lot of kinetic energy at atmospheric pressure and the water converts its energy to the work of the shaft after hitting the buckets that are connected to the Pelton wheel.

 By constructing this laboratory turbine and performing various tests on it, we analyzed the results that are mentioned below. For example, we obtained efficiencies for different jet speeds and we drew the characteristic diagrams of the Pelton turbine and analyzed the data obtained from these diagrams and compared them in different flow rates.

**Keywords**

 Pelton turbine, impact turbine, turbomachine, water turbine

1. مقدمه

لستر آلن پلتون مخترع آمریکایی در اواسط دهه 1870 اولین نمونه آزمایشگاهی‌ توربینش را از جنس چوب ساخت و اولین نمونه واقعی آهنی نیز در سال 1878 در معدنی در نزدیکی شهر نوادا نصب شد. در آن زمان، بیشتر کارها با کمک توان حاصل از موتورهای بخار انجام می‌شد؛ اما این موتورها حجم بسیار زیادی چوب را به عنوان سوخت مصرف می‌کردند.

چرخ‌های آبی در رودخانه‌های بزرگ با راندمان بسیار پایین مورد استفاده قرار می‌گرفتند. از این رو، پلتون شروع به طراحی چرخی کرد که بتواند در مقادیر دبی‌ آبی کم هم کار کند.

مزیت‌های مثبت و راندمان بالای چرخ آبی پلتون باعث شد اختراع او در مدت کوتاهی به تولید انبوه برسد. تا سال 1900، بیش از ۱۱۰۰۰ توربین پلتون در سرتاسر جهان مورد بهره‌برداری قرار گرفته بود. ابتکار پلتون، طراحی جدا کننده‌ای بود که جت ورودی را به دو جریان مساوی تقسیم کند. همین ایده باعث شد راندمان چرخ‌های آبی از حدود 35٪ به 90٪ افزایش پیدا کند.

توربین پلتون از نوع توربین های ضربه‌ای است که برای سد با ارتفاع زیاد مناسب می باشد. برای به حرکت درآوردن توربین و ایجاد انرژی جنبشی در آن نیاز به تزریق آب با سرعت زیاد به سطلک ها می باشد. باتوجه به اینکه هر چه انرژی پتانسیل آب بیشتر باشد، به انرژی جنبشی بیشتری تبدیل می شود و همچنین آب خروجی از توربین تاثیری بر روی آن ندارد، لذا در عمل بهتر است که توربین پلتون در پایین ترین سطح ممکن نسبت به سطح هرز آب قرار گیرد. لازم به ذکر است فشار جت آب هنگام برخورد به چرخ پلتون و خروج از آن تقریباً برابر با فشار محیط است.

1. شرح دستگاه

شکل 1، نمونه آزمایشگاهی توربین پلتون را نشان می دهد که شامل بدنه (1)، دبی سنج[[5]](#footnote-5) (2)، شیر کنترل دبی (3)، نیروسنج (4)، پولی (5)، تسمه (6) و سنسور اثر هال[[6]](#footnote-6) (7) می باشد. همچنین شکل 2 بخش الکترونیکی (8) که شامل نماشگر[[7]](#footnote-7) (9) نیز می باشد و شکل 3 چرخ پلتون و سطلک ها را نشان می دهد.

جنس بدنه دستگاه، پلکس[[8]](#footnote-8) برش خورده با لیزر است. داخل دستگاه چرخ پلتون قرار گرفته که سطلک ها با زوایای تعیین شده روی آن قرار گرفته اند. یک دبی سنج وظیفه اندازه گیری میزان دبی ورودی به دستگاه را بر عهده دارد و برای تنظیم دبی ورودی به دستگاه از شیر کنترل دبی استفاده می شود. هنگامی که آب با فشار زیاد پمپاژ می شود شیرکنترل دبی در مسیر با هدایت بخشی از آب قبل از ورودی نازل و بازگرداندن آب به منبع منجر به کنترل دبی می شود.

شفت خروجی توربین به یک پولی (5) متصل است و دور آن یک تسمه (6) قرار گرفته که می توان با کشش تسمه و اعمال بار به شفت، نیرو سنج را روی عدد مورد نظر تنظیم کرد.

مقدار دور شفت توسط سنسور اثر هال تعبیه شده روی پولی دستگاه بر روی نمایشگر نشان داده می شود. نمایشگر دستگاه قابلیت نشان دادن پارامتر های دور شفت[[9]](#footnote-9) و دبی ورودی را دارد. همچنین ارسال داده ها به رایانه توسط بخش الکترونیکی انجام می شود.

دبی و فشار آب توسط یک پمپ سانتریفیوژ[[10]](#footnote-10) ازمنبعی که در شکل نشان داده نشده است تامین می گردد.

4

1

5

6

7

2

3

شكل 1: نمونه آزمایشگاهی ساخته شده



8

9

شكل 2: بخش الکترونیکی شکل 3: چرخ پلتون

1. سیستم ترمز طنابی[[11]](#footnote-11)

عملاً می توان با نصب یک سیستم ترمزی در روی شفت، توان توربین را جذب نمود.

همانطور که در شکل 4 نشان داده شده ترمز طنابی برای اندازه گیری توان خروجی محور توربین استفاده می گردد. نحوه عملکرد سیستم به این بصورت است که تسمه ای را از دور پولی متصل به شفت گذرانیده و یک سر آن را به نقطه ای متصل می نماییم. سر دیگر را به یک نیروسنج وصل کرده و به کمک نیرو سنج به شفت بار می دهیم. توان خروجی شفت در اصطکاک بین تسمه و پولی جذب می شود.

شكل 4: سیستم ترمز طناب

1. نحوه انجام آزمایش
2. در صورت لزوم منبع ذخیره را آب گیری می کنیم.
3. شیر کنترل دبی را تا انتها باز می کنیم.
4. شفت را از زیر بار خارج می کنیم (تسمه دور پولی را شل می کنیم).
5. پمپ را روشن می کنیم
6. دبی را به کمک شیر کنترل روی 4LPM تنظیم می کنیم.
7. دور شفت را در حالت بدون بار یادداشت می کنیم.
8. با استفاده از سیستم ترمز طنابی به شفت توربین مقدار معینی نیرو (در این تست 0.5N) اعمال می کنیم.
9. دور شفت را از روی نمایشگر دستگاه یادداشت می کنیم.
10. در هر نوبت آزمایش، با اضافه کردن 0.5N به بار اعمالی دستگاه، دور شفت را یادداشت می کنیم.
11. نتایج را در جدول 1 تنظیم می کنیم.
12. این آزمایش را برای دبی های 5 و 6 لیتر بر دقیقه نیز تکرار می کنیم و نتایج را در جداول 2 و 3 یادداشت می کنیم.
13. تمام شیر ها را بسته و پمپ را خاموش می کنیم.
14. جداول نتایج حاصل از آزمایش

جدول 1: داده های به دست آمده برای دبی 4 لیتر بر دقیقه

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| F(N) | RPM | ردیف |
| 0.0 | 330 | 1 |
| 0.5 | 230 | 2 |
| 1.0 | 150 | 3 |
| 1.5 | 40 | 4 |
| 1.6 | 0 | 5 |

جدول 2: داده های به دست آمده برای دبی 5 لیتر بر دقیقه

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| F(N) | RPM | ردیف |
| 0.0 | 410 | 1 |
| 0.5 | 350 | 2 |
| 1.0 | 270 | 3 |
| 1.5 | 200 | 4 |
| 2.0 | 125 | 5 |
| 2.5 | 70 | 6 |
| 3.0 | 0 | 8 |

جدول 3: داده های به دست آمده برای دبی 6 لیتر بر دقیقه

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| F(N) | RPM | ردیف |
| 0.0 | 490 | 1 |
| 0.5 | 425 | 2 |
| 1.0 | 360 | 3 |
| 1.5 | 310 | 4 |
| 2.0 | 240 | 5 |
| 2.5 | 190 | 6 |
| 3.0 | 150 | 8 |
| 3.5 | 100 | 9 |
| 4.0 | 50 | 10 |
| 4.5 | 0 | 11 |

1. روابط مورد نیاز

روابطی که برای تحلیل داده های آزمایش نیاز است به شرح زیر می باشد.

رابطه­ی سرعت جت (آب خروجی از نازل):

$V\_{j}=\frac{\frac{1}{60000}}{\frac{1}{1000000}}×\frac{Q}{A}=\frac{100}{6}×\frac{Q}{(π/4)×D^{2}}=21.22×\frac{Q}{D^{2}}$

$V\_{j}=0.884 ×Q$ (1)

در رابطه فوق Q دبی آب ورودی بر حسب لیتر بر دقیقه، A سطح مقطع نازل برحسب mm2 همچنین D قطر نازل که برابر 4.9mm و Vj سرعت جت آب برحسب m/s می باشد.

رابطه­ی توان ورودی توربین:

مقدار انرژی که هر واحد وزن آب (طبق رابطه 2) هنگام عبور از چرخ پلتون از دست می دهد را می توان از رابطه 3 به دست آورد.

$m∙ =\frac{1}{60000} ρ×Q$ (2)

$WaterPower=\frac{m∙ ×v\_{j}^{2}}{2}$ (3)

در رابطه فوق، ρ چگالی[[12]](#footnote-12) آب با مقدار 1000kg/m3؛ همچنین ∙ m دبی جرمی برحسب kg/s و WaterPower توان ورودی توربین برحسب w می باشد.

رابطه­ی گشتاور[[13]](#footnote-13) خروجی شفت:

با استفاده از مقدار نیرو در جداول 1 و 2 و 3 و جایگذاری در رابطه 4 مقدار گشتاور خروجی شفت محاسبه می شود.

$T=F×R$ (4)

در رابطه 4، F نیرو بر حسب N، همچنین R شعاع پولی که برابر 22mm و T گشتاور خروجی شفت بر حسب N.m می باشد.

رابطه­ی توان خروجی شفت:

با ضرب مقادیر به دست آمده از رابطه 4 در سرعت زاویه ای شفت می توان توان خروجی شفت را محاسبه نمود (رابطه 5).

$BrakePower=Tω =T×\frac{2π}{60}N$ (5)

در رابطه فوق N دور شفت برحسب RPM و BrakePower توان خروجی شفت بر حسب w می باشد

رابطه­ی بازده توربین:

با تقسیم توان خروجی شفت به توان ورودی توربین از رابطه 6 مقادیر بازده محاسبه می شود.

$η\_{T}=\frac{BrakePower}{WaterPower}$ (6)

در رابطه فوق ηT بازده توربین بر حسب درصد می باشد.

1. انجام محاسبات

محاسبات زیر براساس روابط فوق انجام شده است.

Q=4(L/min) =>

Vj=3.54(m/s), WaterPower =0.41661(w)

Q=5(L/min) =>

Vj=4.42(m/s), WaterPower =0.81370(w)

Q=6(L/min) =>

Vj=5.30(m/s), WaterPower =1.40607(w)

جدول 4: نتایج حاصل، به ازای دبی 4 لیتر بر دقیقه

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ηT (%) | Brake Power \*102 (w) | T\*103 (N.m) | F (N) | RPM | ردیف |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 330 | 1 |
| 59 | 26.5 | 11 | 0.5 | 230 | 2 |
| 77 | 34.5 | 22 | 1 | 150 | 3 |
| 31 | 13.8 | 33 | 1.5 | 40 | 4 |
| 0 | 0 | 35 | 1.6 | 0 | 5 |

جدول 5: نتایج حاصل، به ازای دبی 5 لیتر بر دقیقه

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ηT (%) | Brake Power \*102 (w) | T\*103 (N.m) | F (N) | RPM | ردیف |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 410 | 1 |
| 47 | 40.3 | 11 | 0.5 | 350 | 2 |
| 72 | 62.2 | 22 | 1 | 270 | 3 |
| 80 | 69.1 | 33 | 1.5 | 200 | 4 |
| 67 | 57.6 | 44 | 2 | 125 | 5 |
| 47 | 40.3 | 55 | 2.5 | 70 | 6 |
| 0 | 0 | 66 | 3 | 0 | 8 |

جدول 6: نتایج حاصل، به ازای دبی 6 لیتر بر دقیقه

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ηT (%) | Brake Power \*102 (w) | T\*103 (N.m) | F (N) | RPM | ردیف |
| 0 | 0 | 0 | 0.0 | 490 | 1 |
| 37 | 49 | 11 | 0.5 | 425 | 2 |
| 62 | 82.9 | 22 | 1.0 | 360 | 3 |
| 80 | 107.1 | 33 | 1.5 | 310 | 4 |
| 83 | 110.6 | 44 | 2.0 | 240 | 5 |
| 82 | 109.4 | 55 | 2.5 | 190 | 6 |
| 78 | 103.7 | 66 | 3.0 | 150 | 8 |
| 60 | 80.6 | 77 | 3.5 | 100 | 9 |
| 34 | 46 | 88 | 4.0 | 50 | 10 |
| 0 | 0 | 99 | 4.5 | 0 | 11 |

1. نتايج

به کمک داده های جداول 4 تا 6، نمودار های زیر رسم می شود. نتایج حاصل شده برای دبی 4 لیتر بر دقیقه در دبی های بالاتر نیز صدق می کند.

نمودار 1: گشتاور خروجی شفت بر حسب دور توربین

به ازای دبی 4 لیتر بر دقیقه با توجه به نمودار 1 با افزایش دور، گشتاور خروجی شفت بصورت خطی کاهش می یابد. حداکثر گشتاور خروجی (35×10-3 N.m) در حالت متوقف شدن گردش شفت بر اثر افزایش نیروی ترمزی[[14]](#footnote-14) رخ می‌دهد. همچنین بالاترین دور در حالت بی باری[[15]](#footnote-15) شفت توربین (و صفر شدن گشتاور خروجی) مشاهده می شود.

نمودار 2: توان خروجی شفت بر حسب دور توربین

بر اساس نمودار 2 مشاهده می شود در دبی 4 لیتر بر دقیقه با افزایش دور، مقدار توان خروجی تا یک مقدار حداکثری افزایش می یابد (34.5×10-2 w in 150 RPM) و سپس کاهش می یابد تا اینکه در دور 330 در دقیقه به صفر می رسد.

نمودار 3: بازده خروجی شفت بر حسب دور توربین

بر اساس نمودار 3، مشاهده می‌شود منحنی های بازده بر حسب دور شبیه نمودار توان بر حسب دور هستند که دلیل این مسئله ثابت بودن توان ورودی در یک دبی خاص می باشد.

با توجه به نمودار ها میتوان دریافت که بازده برای هرسه دبی، تقریبا یکسان است.

1. نتيجه‌گيری و جمع‌بندي

نتایج حاصل را می توان به صورت زیر جمع بندی کرد.

1. با افزایش دور، گشتاور خروجی شفت بصورت خطی کاهش می یابد.
2. با افزایش دور، مقدار توان خروجی تا مقدار مشخصی افزایش می یابد و سپس کاهش می یابد
3. بازده برای هرسه دبی، تقریبا یکسان است.

**10- مراجع و منابع**

[1] Frank M. White, 2009. FLUID MECHANICS. McGraw-Hill, pp. 793-800

[2] J. F. Douglas, J. M. Gasiorek, J. A. Swaffield and Lynne B. Jack, 2005. Fluid Mechanics. Longman, pp. 826-831

[3] S.L. Dixon, C.A. Hall, 2014. Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery. Elsevier Inc, pp. 363-377

[4] Misc, 16 Apr 2016, Amit Mandal “Pelton Wheel working, Force, Power and maximum Efficiency” Online video Clip. Youtube.

[5] متفرقه، ۲۱ اسفند ۱۳۹7، توربین پلتون (Pelton Wheel) – از صفر تا صد،

 https://blog.faradars.org/توربین-پلتون/

[6] جزوه، 1394، دستور کار آزمایشگاه مکانیک سیالات دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، <http://kntu.ac.ir/dorsapax/userfiles/file/Mechanical/pazhoohesh/Fluid_Mechanics_Lab_Manual_1394.pdf>، شماره صفحه 71-76

1. Non-Reaction [↑](#footnote-ref-1)
2. Water head [↑](#footnote-ref-2)
3. Bucket [↑](#footnote-ref-3)
4. Shaft Work [↑](#footnote-ref-4)
5. Flow Meter [↑](#footnote-ref-5)
6. Hall Effect Sensor [↑](#footnote-ref-6)
7. LCD [↑](#footnote-ref-7)
8. Plexus [↑](#footnote-ref-8)
9. Shaft Revolution [↑](#footnote-ref-9)
10. Centrifugal Pump [↑](#footnote-ref-10)
11. Rope Brake [↑](#footnote-ref-11)
12. Density [↑](#footnote-ref-12)
13. Torque [↑](#footnote-ref-13)
14. Brake Force [↑](#footnote-ref-14)
15. Solo run [↑](#footnote-ref-15)