

Journal of Sustainable Energy Systems

Home Page: <https://ses.ut.ac.ir>

Research Paper

An Analysis on Performance of the Archimedes Screw Turbine – A Review of Past Studies**Barat Ghobadian^{1*}, Hedieh Eskandariun²**¹ Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.² Master Student, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Iran**ARTICLE INFO****Article History:**

Received 27 January 2022

Revised 13 March 2022

Accepted 28 March 2022

Keywords:Archimedes screw history
clean power produce
water turbine**ABSTRACT**

Archimedes screw turbines are a novel type of small hydroelectric power plant that can be used in low-altitude locations. The Archimedes screw turbine is a clean and renewable energy source and is safer for wildlife and especially aquatic life than other hydroelectric generation options. In addition to other sources of energy, the turbine is not a definitive and comprehensive solution. However, it can have many economic, social and environmental benefits. This makes this device an effective option for sustaining hydropower development. Archimedes screw turbines can produce up to 355 kW of power at low water heads (less than about 5 meters) and a range of flow rates with a practical efficiency of 60% to 80%. This device can be operated in remote areas and small communities. Therefore, it increases the potential for the sustainable development of hydropower. In many low-head situations, the Archimedes screw turbine is more cost-effective than alternative hydroelectric systems with less installation and operating costs. Also, disturbances in sedimentation and natural erosion processes and the performance of wildlife, especially aquatic animals, are associated with a significant decrease. Archimedes screw turbines can be operated at the lowest flow rate in the majority of chain power plants and outside the power generation network. This article examines the characteristics of the Archimedes screw turbine and examines its operation methods and its features and disadvantages.

1. Introduction

Hydrodynamic screw refers to a sloping shaft device with one or more twisted spiral blades attached to it. This helix is placed in a quasi-circular chamber. The device works based on the height difference that exists on sloping surfaces. If the Archimedes screw rotates clockwise, the water confined between two consecutive vanes, the chamber wall, and the shaft is pushed up (1).

When water enters the screw from the high part, it causes it to rotate and enters the next part of the spiral blade, and so on until the end of the screw. The energy entered by the volume of water entered mechanically is converted into electricity, and electricity is generated by a generator connected to the control panel (2).

Hydrodynamic screws are classified into spiral screws, which are divided into open and closed. The closed hydrodynamic screw is installed in a cylindrical placement (3).

The hydrodynamic screw is one of the oldest machines used. The history of this device is not clear, and historians disagree on its original background. Some historians date the device to the Hellenistic period (3 centuries BC) to an engineer named Syracuse and some to Archimedes (4).

This device has been used in the mines of Spain during the Egyptian Empire and has been mentioned in the works of scientists such as Vitruvius, Drachman, Oleson, Rybczynski, Konrad Keyser, Da Vinci, Rommelli & Cardano(5–7).

Galileo was the first to promote the screw pump theory in his book in the 1990s. In the 18th century, Daniel Bernouli was the first to pay attention to the amount of water displaced and make practical

* Corresponding Author, Email: ghobadib@modares.ac.ir

calculations. In the 19th century, Wiesbach provided a good approximation of the exact volume of water displaced per turn. In the present century, Chris Rorrers has done very significant studies on the different dimensions of the screw and the influence of different factors on it, and with the help

of programming language, he has been able to code the screw behaviors (7).

2. Material and Method

Environmental factors and design factors of the device are the main factors affecting the device's performance (8).

Table 1. Environmental and Design Factors

Environmental	symbol	Design	symbol
Slope of Screw	θ	Outer Diameter	D_o
Gravity	g	Inner Diameter	D_i
Flow Rate	Q	Pitch	P
liquid Density	ρ	Blade Inner & Outer Angel	β & α
Height	H	Blades' Number	N
		Gap Width	G_w1
		Length	L

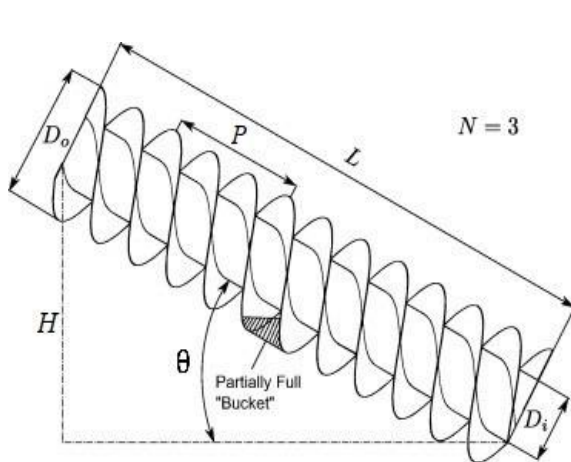


Figure 1. Geometric Variables.

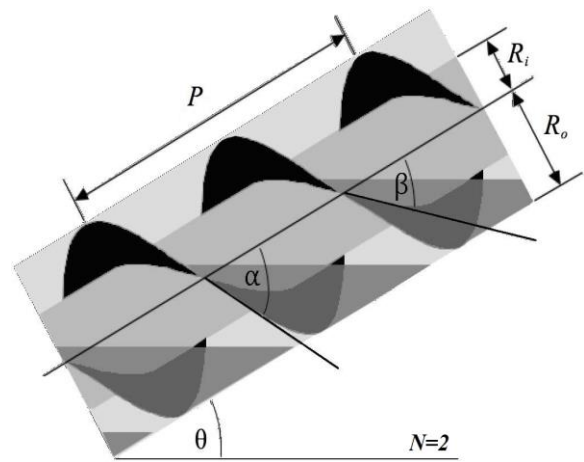


Figure 2. Profile View of Blades.

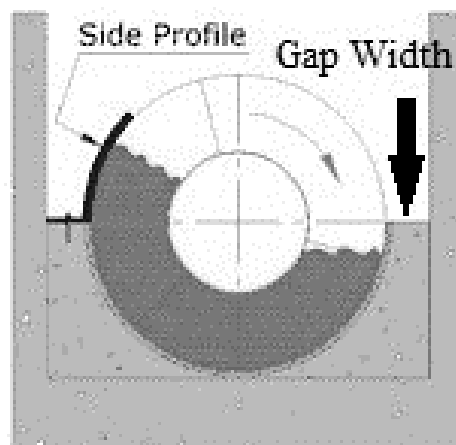


Figure 3. Gap Width [6].

2.1. Partially Full Bucket

The water that moves in each turn of the screw directly affects the final production capacity, which three factors can investigate. These factors are Chute, Bucket, and Gap Leakage.

“Gap Leakage” or “Gap width” is calculated by the empirical formula suggested by Nigel (9).

$$G_w = 0.0045\sqrt{D_o} \quad (1)$$

2.2. Inlet and Outlet Losses

Bearing Drag (From the bearing side, the two ends of the hydrodynamic screw prevent the complete transfer of the hydrodynamic force of water.) and Viscous Drag (Due to 5the shear forces between the fluid and the inner surface of the hydrodynamic screw) (10).

2.3. Power

Input Power:

$$P_i = \rho g Q H \quad (2)$$

Output Power:

$$P_o = I V \quad (3)$$

$$P_o = T \cdot \omega \quad (4)$$

2.4. Efficiency

The calculated efficiency value for hydrodynamic screws (80-65) % has been obtained in reliable sources (11).

$$\eta = \frac{P_i}{P_o} \times 100 \quad (5)$$

3. Screw applications & advantages and disadvantages of using Hydrodynamic Screw

The hydrodynamic screw has a wide range of functions and points that it is necessary to mention (9).

Applications

- Suitable replacement for used and broken water wheels and small turbines that need maintenance.
- It supplies oxygen to the water and improves the water quality downstream.
- Remove excess water and act as a sludge pump for wastewater treatment.
- Compatible with flow rate changes
- Reusability in water cooling

Advantages;

- No need to lubricate bearings and use special vegetable oils for gearboxes in order to create a healthy and clean environment

- It has a safe barrier valve with a hydraulic system to cut off the water flow in emergencies.
- Low construction costs during installation
- No need for a sieve to prevent floating objects from entering
- No need for a control and monitoring system
- Environmental impacts are at a minimum level.
- It will cause the least amount of damage to aquatic animals and their spawning stages and even provide oxygen to the water depth and improve its quality. That is why the screw pump is known as an aquatic friend.

Disadvantages;

- Unable to pump high viscosity liquids and requires an auxiliary pump.
- There will be high costs if the suspended solids block the operation of the screw.
- In order to coordinate with the mains voltage, a converter is needed, and the device generates a relatively large amount of noise during operation, whereas at the initial start-up in the form of micro power plants, the high costs associated with the construction of the power plant must be estimated.
- Due to the decrease in rainfall and continuous drought, this turbine loses its efficiency and effectiveness in case of loss of annual surface water currents.

4. Conclusions

The best way is to get acquainted with the device's performance, fully identify the factors affecting the operation of the device and finally identify and select the best method to optimize the final performance of the hydrodynamic screw. These methods can be on a laboratory scale, in the field, in a programming language, or analytically and computationally using sciences such as mechanics, mathematics, physics, and chemistry. In addition, not only is this device used as a pump but it also is used as a drainer for a long time.

Although small hydropower plants, including hydrodynamic screws, are among the distributed generation of electricity, and according to the benefits stated for this type of power plants, in addition to producing clean and distributed electricity, the advantage of using this device helps to maintain the health of the environment in aquaculture and agricultural units, such as generating electricity and reducing the costs of production, transmission, and waste of electricity. It is hoped that with further identification and study on this device, its use will be widespread.

فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار

سایت نشریه: <https://ses.ut.ac.ir>

مقاله پژوهشی

تحلیل عملکرد توربین پیچ ارشمیدس و مروری بر مطالعات انجام‌شده

برات قبادیان^{۱*}، هدیه اسکندریون^۲

^۱ استاد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشگاه تهران، ایران

چکیده

توربین پیچ ارشمیدس نوع جدیدی از نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک هستند که می‌توان از آن‌ها در مکان‌های با ارتفاع کم استفاده کرد. توربین پیچ ارشمیدس یک منبع انرژی پاک و تجدیدپذیر است و نسبت به سایر گزینه‌های تولید برق‌آبی برای حیات وحش و به‌ویژه آبزیان ایمن‌تر است. این توربین مانند سایر گزینه‌های تولید انرژی، راه‌حل قطعی و جامع نیست، اما می‌تواند مزایای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی زیادی داشته باشد که این دستگاه را به گزینه‌ای مهم برای ارائه توسعه پایدار برق‌آبی تبدیل می‌کند. توربین‌های پیچ ارشمیدس می‌توانند در هدهای آبی پایین (کمتر از حدود ۵ متر) و طیفی از نرخ جریان با راندمان عملی ۶۰ تا ۸۰ درصد کار و تا ۳۵۵ کیلو وات برق تولید کنند. این دستگاه قابل بهره‌برداری در نواحی دورافتاده و جوامع کوچک است، بنابراین سبب می‌شود تا موقعیت‌های مناسب توسعه پایدار انرژی آبی افزایش یابد. در بسیاری از موقعیت‌های با هد پایین، توربین پیچ ارشمیدس با هزینه‌های نصب و راه‌اندازی کمتری نسبت به سیستم‌های برق‌آبی جایگزین به‌صرفه‌تر است. همچنین، اختلال در فرایندهای رسوب و فرسایش طبیعی و عملکرد حیات وحش به‌خصوص آبزیان با کاهش چشمگیری همراه می‌شود. توربین‌های پیچ ارشمیدس در غالب نیروگاه‌های زنجیره‌ای و خارج از شبکه تولید برق قابل بهره‌برداری با کمترین نرخ جریان هستند. این مقاله به بررسی ویژگی‌های توربین پیچ ارشمیدس و بررسی روش‌های بهره‌برداری و ویژگی‌ها و معایب آن می‌پردازد.

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۱۱/۰۷

تاریخ بازنگری ۱۴۰۰/۱۲/۲۲

تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۰۱/۰۸

کلیدواژه:

پیچ ارشمیدس

توربین آبی

تولید برق پاک

مقدمه

طبق گزارش وضعیت جهانی تجدیدپذیرها ۲۱ (REN21-2021)، افزایش رکورد بی‌سابقه سرمایه‌گذاری در صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر و پروژه‌های نصب‌شده جهانی برای اولین بار بیش از ۱۰ درصد برق جهان را تأمین می‌کند. آژانس بین‌المللی انرژی اولین سناریو برای انتشار خالص صفر^۲

گازهای گلخانه‌ای را منتشر و به نیاز پایان دادن مصرف سوخت‌های فسیلی اشاره کرد [۱۲] که در راستای رسیدن به این هدف پروژه‌ها و راه‌حل‌های متعددی تعریف شده که استفاده از انرژی‌های پاک یکی از آن‌هاست. انرژی آبی از کارآمدترین و مطمئن‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر است [۱۳] که برای دستیابی به آینده پایدار اهمیت دارد [۹].

سدها که به عنوان بارزترین نمونه استفاده از انرژی برق‌آبی شناخته شده‌اند؛ ابزارهای ضروری برای کنترل، ذخیره، مدیریت و بهره‌برداری از آب هستند. سدهای

* نویسنده مسئول

Email: ghobadib@modares.ac.ir

1. Renewables 2021 Global Status Report

۲. در واقع پروژه «صفر خالص» به این معناست که مقدار کربنی که تولید می‌شود، با مقدار کربنی که به هر طریقی جذب می‌شود،

برابر باشد و به این ترتیب مقدار انتشار کربن به صفر برسد [۵۴].

به‌ویژه برای تأسیسات تصفیه فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ علت این امر توانایی عبور دادن مواد زاید از بین پره‌های پیچ است [۱۸].

در توضیح شکل ۱، پیچ هیدرودینامیکی از قدیمی‌ترین ماشین‌هایی است که مورد استفاده قرار گرفته است. پیشینه این دستگاه به صورت روشن و آشکار مشخص نیست و مورخان بر سر پیشینه اصلی آن اختلاف نظر دارند [۱۹]. عده‌ای از مورخان تاریخ ساخت این دستگاه را به دوران هلنیتسم (۳ سده قبل از میلاد مسیح) به مهندسی به نام سیراکوس و عده‌ای به ارشمیدس نسبت داده‌اند [۲۰]. البته برخی از مورخان و دانشمندان^۴ ارشمیدس را به عنوان انتقال‌دهنده این تکنولوژی از مصر به یونان شناخته‌اند و برای مخترع آن نظری ارائه نداده‌اند [۲۱]. تئوری به‌کاررفته در این پیچ از مدل ساده مارپیچی تبعیت می‌کند [۲۲] که از آن برای انتقال آب برای آبیاری زمین‌های کشاورزی و زهکشی آب اضافی موجود، استفاده می‌شده است. ویتروویوس در کتاب خود جزئیات مربوط به ساختار و عملکرد پیچ ارشمیدس را در قالب یک پیچ که در یک سیلندر محفوظ شده و قادر است تا حجم زیادی از مایعات را جابه‌جا کند، بیان کرده است [۲۱]. در منابعی دیگر که به کتیبه‌های میخی آشوریان در زمان پادشاهی سناچریب^۵ مربوط است، عنوان شده که از این وسیله به صورت یک پیچ در قالب سرتاسری از جنس برنز استفاده می‌کردند [۴]. همان‌طور که اشاره شد، از این دستگاه بیشتر برای زهکشی و آبیاری استفاده می‌کردند، همین‌طور در منابع به آبیاری باغ‌های معلق بابل با این وسیله اشاره شده است. علاوه بر این، از این دستگاه در معادن اسپانیا و در دوران امپراتوری مصریان هم استفاده شده است [۲۳]. یکی از کتاب‌های پرکاربرد به‌جامانده از معدود کتاب‌هایی که درباره ماشین‌های قدیمی سخن گفته‌اند؛ کتاب ویتروویوس است که اطلاعات ارزشمندی را عنوان کرده است^۶ [۲۱].

هرون^۷ در کتاب خود^۸ به تربیع دایره و چرخش یک گوه، به دور یک استوانه یا دایره (به ترتیب) اشاره کرده است. در واقع وی به شرح کاربرد یک مثلث مستطیلی که به دور یک استوانه مرکزی پیچیده و در نهایت پیچ ارشمیدس تشکیل

بزرگ اهداف مختلفی را از جمله تأمین آب، کنترل سیل، نایبری، کنترل رسوب و نیروگاه آبی تأمین می‌کنند [۱۴]. با این حال، دارای معایبی از جمله آب‌گرفتگی مناطق وسیعی از زمین، ممانعت از مهاجرت ماهی‌ها و تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی رودخانه پایین دست سد، هستند [۱۵]. در حال حاضر، بیشتر سدهای بزرگ در کشورهای در حال توسعه با اهدافی نظیر کنترل سیلاب، کشاورزی و تأمین انرژی در حال ساخت هستند، بنابراین برای ساخت آن‌ها به سرمایه قابل توجهی در سطح کلان نیاز است. در عین حال، از کار انداختن سدها در کشورهای توسعه‌یافته به دلیل اثرات مخرب زیست‌محیطی و هزینه‌های سطح بالای نگهداری سازه‌های قدیمی رو به افزایش است [۱۶]. بنابراین، لازم است سایر روش‌های تولید نیروی برق آبی را شناخت و به عنوان منابع تجدیدپذیر مد نظر قرار داد. این مهم شامل نیروگاه‌های ذخیره تلمبه‌ای، جریان رودخانه‌ای و جزومدی است.

نیروگاه‌های برق آبی براساس ظرفیت تولید برق، به دو گروه بزرگ و کوچک دسته‌بندی می‌شوند. نیروگاه‌های کوچک شامل میکرو^۱ (۵ تا ۱۰۰ کیلووات) و پیکو^۲ (زیر ۵ کیلو وات) است. نیروگاه‌های با ظرفیت تولید پایین تقریباً ۳ تا ۴ درصد از انرژی کل مورد نیاز انسان را تولید می‌کنند (REN21-2013) و برای جوامعی که دسترسی به شبکه برق ندارند یا نیازمند تولید برق به صورت مستقل هستند، گزینه مناسبی به شمار می‌روند [۱۷]. این نیروگاه‌ها برای تولید برق با هدف توسعه پایدار و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی مورد توجه کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه هستند [۹].

از جمله فناوری‌های مناسب در این زمینه می‌توان به توربین‌های آبی کوچک و به‌خصوص توربین پیچ ارشمیدس^۳ اشاره کرد. این توربین‌ها می‌توانند در سدها و سرریزهایی که کارایی بالقوه خود را از دست داده‌اند، نصب شوند و با حداقل اثرات زیست‌محیطی، با هد پایین به تولید دوباره انرژی برق آبی بپردازند. علاوه بر این، با کنترل از راه دور و عدم نیاز به سرویس‌کاری مکرر، دستگاه مناسبی برای نصب در مناطق دور دست و جوامع کوچک است [۴]. همچنین، امروزه به عنوان پمپ‌های با حجم بالا

4. Kellerann, Terue & Krause

5. Sennacherib, 681-704 B.C

6. 25 B.C.

7. Heron

8. Heron's Machine-Book 2

1. Micro Hydropower

2. Pico Hydropower

3. Archimedes Screw Turbine

پمپ پیچ ارشمیدس برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ توسط رادلک^۹ به عنوان توربین برای تولید انرژی معرفی شد (شکل ۱-و). پس از آن در سال ۱۹۹۷ برای اولین بار توربین پیچ ارشمیدس روی رودخانه آگر در آلمان نصب و راه اندازی شد [۴].

هدف از انجام این تحقیق و لزوم انجام آن

تحقیق پیش رو به منظور آشنایی جامع و کامل درباره توربین پیچ ارشمیدس و تحقیقات انجام شده طی سه دهه که از معرفی آن می گذرد، ارائه می شود. در این تحقیق ضمن ارائه پیشینه تاریخی این دستگاه و روند ارتقای آن به مطالعات صورت گرفته روی این دستگاه می پردازد و نتایج تحقیقات انجام شده را بیان می کند. با توجه به ویژگی های درخور این دستگاه برای بهره برداری در صنعت انرژی های تجدیدپذیر، به یک منبع مروری به زبان فارسی نیاز بود تا محققان و سرمایه گذاران برای مطالعه این توربین و سرمایه گذاری های آتی در اختیار داشته باشند.

روش انجام کار

مطالعه توربین پیچ ارشمیدس

با بررسی نتایج به دست آمده از داده های جمع آوری شده مشخص شد بیش از ۴۰۰ مورد توربین پیچ ارشمیدس در دنیا ساخته و بهره برداری شده است [۲۹]. اروپا پرمخاطب ترین کاربر این دستگاه بوده و پس از آن در امریکای شمالی مورد استفاده قرار گرفته است. عمده پیچ های نصب شده دارای ابعاد یکسان و مشابه بوده اند [۴]. در این بخش ضمن معرفی مراحل مطالعه توربین پیچ ارشمیدس به بررسی عملکرد دستگاه و مطالعات انجام شده در این راستا پرداخته خواهد شد.

جریان در توربین پیچ ارشمیدس به صورت سطح آزاد، غیرقابل تراکم، غیرماندگار و آشفته است. برای حل عددی پدیده حاکم بر پیچ ارشمیدس، باید معادلات سه بعدی و غیرماندگار ناویر-استوکس متوسط زمانی^{۱۰} را حل کرد. در این روش، تنش های رینولدز به صورت مجهول در معادلات هستند و با استفاده از یک مدل آشفتگی محاسبه می شوند [۳۰].

می شود، اشاره کرده است [۲۱]. بر اساس فرضیه کوئتزیر و بلواندرا^۱ گوه به پیشنهاد ارشمیدس به دور استوانه پیچیده شده و سبب ساخت پیچ ارشمیدس، جهت جابه جایی سیال، شده است (شکل ۱-الف) [۶].

پس از دوران باستان تا قرن ۱۵ میلادی تئوری قابل توجهی در خصوص پیچ ارشمیدس ارائه نشد، تا اینکه گنراد کیسر^۲ در نسخ خطی به جامانده، پمپ پیچ را با دو پره مارپیچ ارائه داده است (شکل ۱-ب) [۶].

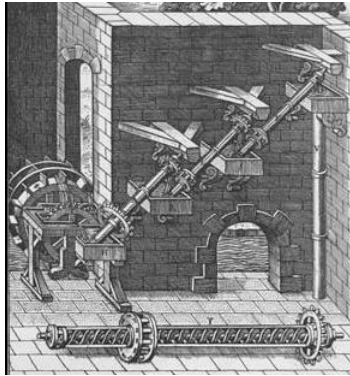
داوینچی^۳ با پیچاندن یک لوله آب به دور استوانه مرکزی، توانست حجم بیشتری از آب را با تعداد دور چرخش کمتری بسازد (شکل ۱-ج) [۹]. روملی و کاردانو^۴ در قرن ۱۶ میلادی با ارائه دستگاهی شبیه پیچ هیدرودینامیکی (شکل ۱-د)، نمای جدیدی از پمپ پیچ آب را به صورت طبقه طبقه به نمایش گذاشتند، که قادر بود آب را به سطح بالاتر منتقل کند. طبق نظریه کاردانو [۵] اگر AB محور استوانه، DC ارتفاع قرارگیری پیچ، AE لوله پیچیده شده به دور محور باشد؛ در صورت گردش E حول نقطه A زیر نقطه C قرار گرفته و به علت نیروی وزن آب از E به F منتقل می شود (شکل ۱-ه) [۹].

گاليله در کتاب خود^۵ در دهه ۹۰ قرن ۱۶ میلادی، اولین کسی بود که تئوری پمپ پیچ را ارتقا داد. وی اثبات کرد جهت انتقال حجم آب بیشتری توسط دستگاه باید زاویه قرارگیری پیچ با افق کوچک تر از مثلی باشد که از دوران آن مارپیچ حاصل می شود [۲۴]. برنولی^۶ در قرن ۱۸ میلادی در کتاب هیدرودینامیک ها^۷ درباره پیچ ارشمیدس مطالعه کرد [۶]. به نظر می رسد وی اولین کسی بود که به مقدار حجم آب جابه جاشده توسط پیچ توجه داشته و محاسبات مؤثری در این زمینه ارائه داده است [۶]. ویسباخ^۸ در قرن ۱۹ با بررسی رفتارهای پیچ ارشمیدس نتوانست به کمک روش های تحلیلی حجم دقیق آب جابه جاشده در هر گردش را محاسبه کند، اما تقریب خوبی از این مقدار ارائه داد [۲۵].

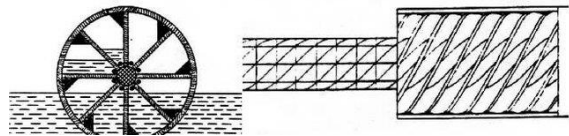
1. Koetsier & Bluwendraat
2. Konrad Keyser
3. Da Vinci's Codice Atlantico
4. Rommelli & Cardano
5. Galilei's Mecchanice
6. Daniel Bernouli
7. Hydrodynamics
8. Weisbach

9. Radlik

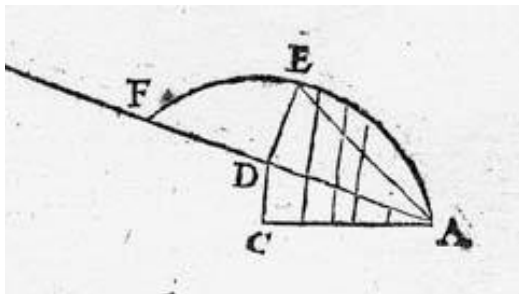
10. Reynolds-Averaged Navier-Stokes



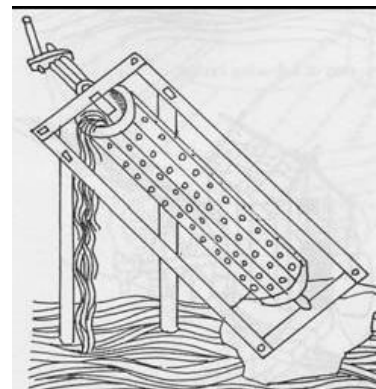
د. پمپ پیچ آب ارائه‌شده توسط روملی و کاردانو [۲۶]



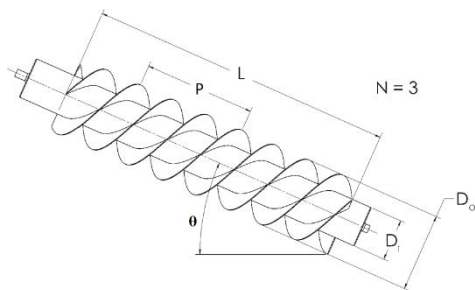
الف. اساس فرضیه کوئتزیر و بلواندرات [۶]



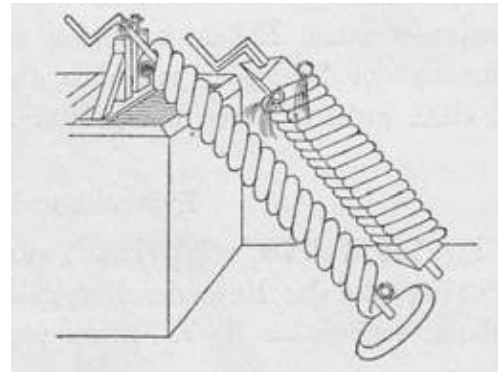
ه. رسم هندسی نظریه کاردانو [۵]



ب. پیچ ارائه‌شده توسط کنراد کیسر [۶]



و. ساختار توربین پیچ ارشمیدس [۲۸]



ج. پمپ پیچ آب ارائه‌شده توسط داوینچی [۲۷]

شکل ۱. تاریخچه پیچ ارشمیدس طبق تحقیقات صورت گرفته

محاسباتی CFD^۳ است. در این تحقیق، محققان محدوده جریان آب را به شبکه‌های بسیار کوچک به نام مش^۴ تقسیم کردند و معادلات مربوط به هر مش را با روش حجم محدود، گسسته‌سازی و حل کردند. همچنین، شرایط مرزی کف و کناره‌های کانال و سطح آب به صورت متقارن، دبی ثابت در کانال بالادست و فشار یا ارتفاع ثابت

معادله ۱ معادله پیوستگی ناویر-استوکس است که u بردار سرعت، ρ جرم مخصوص سیال و τ زمان است.^۱

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (۱)$$

یکی از مدل‌های آشفتگی مورد استفاده، مدل RNG^۲ در نرم‌افزار FLOW-3D با کمک دینامیک سیالات

3. Computational Fluid Dynamic
4. Mesh

۱. برای دسترسی کامل به محاسبات ریاضی رجوع شود به [۵۵].
2. ReNormalized Group

در کانال پایین دست، با اعمال جریان ماندگار و ارتفاع آب ثابت، شبیه سازی کردند [۱۷].

در مطالعات دلینگر^۱ [۱۱] توربین پیچ ارشمیدس توسط چاپگر سه بعدی ساخته شد. در قسمت بالادست و پایین دست کانال توربین شبیه سازی سطح سیال با استفاده از مدل آشفتگی ($k-\epsilon$ SST) و روش کسر حجمی VOF^2 به اندازه گیری گشتاور پیچ و ارتباط آن با راندمان دستگاه پرداخت. مشخص شد که علاوه بر گشتاور تولیدی توسط دستگاه، گشتاور بلبرینگ هم در محاسبات اثر دارد و به صورت خطی با سرعت چرخشی افزایش می یابد. شبیه سازی های مرتبط با این تحقیق به کمک معادلات رینولدز در نرم افزار متن باز (OpenFoam) انجام شد [۱۱]. همین روش با مدل اختلاط پرانتل^۴ و معادلات مومنتوم برای پیش بینی سطح سیال استفاده شد [۶].

طراحی

هندسه پیچ

عوامل تأثیرگذار بر عملکرد پیچ هیدرودینامیکی

فاکتورهای مؤثر بر عملکرد دستگاه، به دو دسته فاکتورهای محیطی و فاکتورهای طراحی دستگاه شکل ۲ تقسیم می شوند که در جدول ۱ به آن ها اشاره شده است [۳۱ و ۲].

همان طور که در شکل (۲-الف) ملاحظه می شود، پره های مارپیچ به دور استوانه مرکزی، شفت با طول (L) به قطر (Din) پیچیده شده اند و قطر خارجی مجموعه (Dout) نام می گیرد. زاویه قرارگیری پره ها نسبت به سیلندر مرکزی پیچ به ترتیب در شکل (۲-ب) (α) و (β) نام دارد. همچنین فاصله بین دو پره گام مارپیچ نام دارد که با (P) نشان داده شده است. مجموعه پیچ ارشمیدس عموماً داخل یک محفظه استوانه ای قرار می گیرد که کل پیچ را احاطه کرده و یا به صورت نیم سیلندر فقط در قسمت پایین شفت قرار دارد. اختلاف فاصله بین قطر محفظه پیچ و قطر بیرونی پیچ بسیار جزئی است و عرض

نشت^۵ نام دارد و به جریان آب عبوری از این قسمت، نشت سرریز^۶ گویند [۳۲].

باکت^۷: شکل (۱-الف) آب از قسمت بالادست پیچ وارد مجموعه می شود و پس از عبور از عرض نشت ها از قسمت پایین دست پیچ خارج می شود. با توجه به مارپیچ بودن پره ها، به آب به دام افتاده میان دو پره مارپیچ باکت گفته می شود. جهت گیری شیب باکت های ایجاد شده با توجه به محور پیچ باعث ایجاد تفاوت در عمق آب بین دو طرف پره شده و در نتیجه اختلاف فشار به وجود آمده، مؤلفه مماسی نیروی فشاری روی محور مرکزی پیچ، گشتاوری را ایجاد می کند که سبب چرخیدن پیچ و تولید نیروی مکانیکی می شود که با نصب یک ژنراتور به محور مرکزی می توان نیروی مکانیکی را به نیروی الکتریکی تبدیل کرد [۳۴ و ۳۲]. با توجه به تحقیقات صورت گرفته توسط لاشوفر^۸ و همکاران طبق تحلیل عددی، ثابت شد جهت به دست آوردن حداکثر کارایی سرعت چرخشی پیچ تأثیر بسزایی دارد، بنابراین کنترل سرعت و جریان توأمان با هم باید مد نظر قرار گیرد [۲۹].

سرعت چرخشی^۹ یا سرعت زاویه ای که بر حسب دور بر دقیقه محاسبه می شود، در توربین پیچ ارشمیدس نسبت به سایر توربین ها کمتر است. بنابراین، عمر مفید آن به علت کاهش میزان اصطکاک، بالاتر می رود. معادله ۲ رابطه پیشنهادی نیگل در این خصوص است [۳۵ و ۱۹].

$$RPM = \frac{50}{\sqrt[3]{D_o}} \quad (2)$$

در این رابطه RPM تعداد دور بر دقیقه (D_o) قطر خارجی دستگاه است.

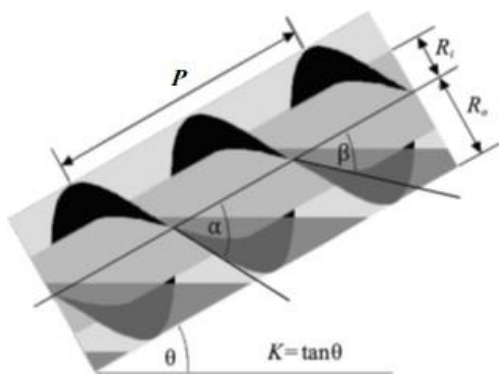
فاکتورهای محیطی تأثیرگذار بر عملکرد دستگاه شامل: ارتفاع هیدرولیکی دستگاه (H) که در ارتباط مستقیم با سینوس زاویه قرارگیری دستگاه (θ) است که همان زاویه قرارگیری شفت دستگاه با افق است. از جمله فاکتورهای محیطی دیگر، دبی گذرنده از پیچ (Q)، وزن مخصوص سیال (ρ) (که در این مقاله، سیال مورد نظر آب است) و شتاب جاذبه ($g=9/8 \frac{m}{s^2}$) است [۳۱].

5. Gap width
6. Gap Leakage
7. Bucket
8. Lashofer
9. Rotation Speed

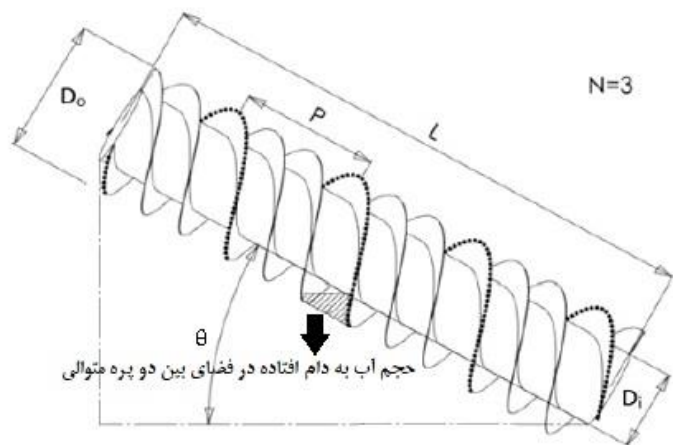
1. Dellinger
2. Shear Stress Transport
3. Volume of Fluid
4. Prandtl

جدول ۱. فاکتورهای محیطی و طراحی پیچ هیدرودینامیک

فاکتور طراحی	نماد	فاکتور محیطی	نماد
قطر بیرونی	D_o	زاویه قرارگیری	θ
قطر درونی	D_i	چگالی سیال	ρ
گام مارپیچ	P	ارتفاع هیدرولیکی دستگاه	H
زاویه قرارگیری پره با شفت	α و β	دبی عبوری از دستگاه	Q
ارتفاع هیدرولیکی دستگاه	H		
فاصله عرضی	G_w		
طول پیچ	L		
تعداد پره‌های پیچ	N		

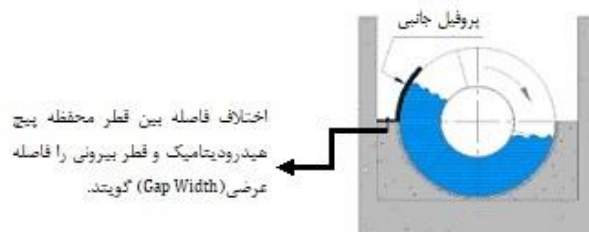


ب- اجزای طراحی پیچ هیدرودینامیک [۳۳]



الف- اجزای طراحی پیچ هیدرودینامیک [۱۹]

شکل ۲. هندسه پیچ و فاکتورهای طراحی دستگاه



شکل ۳. پروفیل جانبی پیچ هیدرودینامیک و فاصل عرضی [۲]

شدن فضای ۱۰۰ درصدی بین دو پره توسط آب گشتاور پیچ تحت تأثیر قرار گرفته و به تبع آن، جریان آب پایین دست بالا می‌آید و به اصطلاح پیچ مستغرق می‌شود. در نهایت، نیروی هیدرواستاتیکی پدیدآمده کاهش می‌یابد و انرژی تولیدی دستخوش تغییر می‌شود. به همین منظور، شاهرودی و همکاران نسبت استغراق را برای عملکرد بهینه دستگاه ارائه دادند که در معادله ۳ آمده است [۴].

طبق تحقیقات انجام شده [۳۶ و ۱۳] این توربین برای مکان‌های با نرخ جریان پایین و ارتفاع هیدرولیکی کم گزینه مناسبی بوده و قادر است تا به نرخ جریان نزدیک به صفر بازدهی داشته باشد. ضمن آنکه افزایش بیش از حد نرخ جریان باعث کاهش راندمان دستگاه می‌شود. علت این امر توسط رورس^۱ بررسی شده است [۸]. به علت اشغال

1. Rorrers

بازدهی

با توجه به اینکه تمامی دستگاه‌های مولد انرژی تنها در حالت ایده‌آل و با حذف کلیه تلفات می‌توانند توان ورودی و خروجی برابر داشته باشند تا دارای بازدهی ۱۰۰ درصد باشند؛ طبق رابطه ۷ محاسبه بازدهی دستگاه نسبت توان ورودی به توان خروجی آن است. در منابع معتبر مقدار بازدهی محاسبه شده برای پیچ هیدرودینامیک (۶۵-۸۰) درصد به دست آمده است [۶ و ۲۸]. این مقدار بازدهی در توربین‌های پیچ ارشمیدس نصب شده در کشور آلمان ۸۰ درصد است [۳۲ و ۲۹].

$$\eta = \frac{P_i}{P_o} \times 100 \quad (7)$$

صحت‌سنجی

در تحقیقات صورت گرفته برای صحت‌سنجی نتایج به دست آمده، شرایط اولیه مطالعات را یکسان با تحقیقات قبلی در نظر می‌گیرند و سپس نتایج محاسبات عددی با نتایج محاسبات عملی و آزمایشگاهی را محاسبه می‌کنند و اگر اختلاف مقادیر حاصل شده در حد قابل قبولی باشد، یعنی نتایج مدل معتبر است [۳۷].

یافته‌ها و استدلال‌ها

تلفات دستگاه^۳

در محاسبه عملکرد هر دستگاه همواره پارامترهای مشخصی از تلفات وجود دارد که بر نتیجه نهایی تأثیرگذار است. توان خروجی توربین پیچ ارشمیدس را می‌توان توسط دبی ورودی آن محدود [۳۸] و با در نظر گرفتن کلیه فاکتورهای تأثیرگذار در تلفات دستگاه خروجی نهایی را محاسبه کرد [۲ و ۱] این فاکتورها شامل [۳۲]:

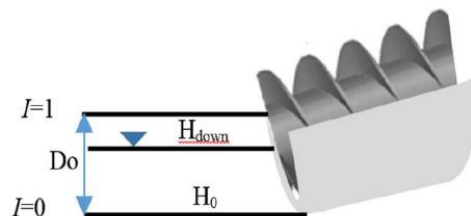
- اصطکاک هیدرولیکی داخلی بین آب و سطوح متحرک پیچ

- اصطکاک بلبرینگ که بسیار جزئی بوده و اندازه‌گیری آن دشوار است [۴].

- یاتاقان که باعث کاهش گشتاور می‌شود. مقدار این اصطکاک در انواع توربین‌های پیچ ارشمیدس می‌تواند متغیر باشد.

$$I = \frac{(H_{down}) - (H_0)}{D_o} \quad (3)$$

در این معادله، نسبت استغراق، قطر خارجی پیچ، ارتفاع آب در کانال پایین دست و ارتفاع پایین ترین نقطه کانال است. پارامترهای یادشده در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. نسبت استغراق [۱۷]

لاشوفر و همکاران در ۲۰۱۲ با آزمایش روی ۲۹ توربین پیچ ارشمیدس ثابت کردند که هزینه هر وات برق تولیدی توسط توربین پیچ ارشمیدس با سرعت ثابت چرخش، کمتر از حالتی است که سرعت چرخش تنظیم شده است [۲۹].

توان

توان ورودی دستگاه^۱ (P_i): توان ورودی به پیچ هیدرودینامیک برابر با توان آب ورودی به آن است که بر اساس رابطه ۴ قابل محاسبه است.

$$P_i = \rho g Q H \quad (4)$$

در این رابطه همان طور که در جدول ۱ اشاره شده است، (Q) دبی جریان، (H) ارتفاع هیدرولیکی جریان، (g) شتاب جاذبه و (ρ) چگالی سیال است.

توان خروجی دستگاه^۲ (P_o): برای محاسبه توان خروجی دستگاه، دو روش قابل اجراست. روش نخست: محاسبه اختلاف پتانسیل (V) و شدت جریان گذرنده (I) استفاده از رابطه ۵.

$$P_o = I * V \quad (5)$$

روش دوم: محاسبه سرعت زاویه‌ای (ω) و گشتاور دستگاه (T) و استفاده از رابطه ۶.

$$P_o = T * \omega \quad (6)$$

- تلفات مکانیکی و الکتریکی اضافی در گیربکس‌ها، ژنراتورها و کنترلگرهای الکتریکی

- تلفات ورودی و خروجی جریان ناشی از ارتفاع هندسی و گشتاور پیچ که مطالعاتی روی آن‌ها انجام شده و به کمک معادله بُردا-کارنو^۱ توان خروجی قابل محاسبه است. همچنین، نوربرگ معادلاتی را برای هدررفت آب خروجی ارائه کرده است [۲۹] و کوزین و لوبیتز در خصوص گشتاور پیچ معادلات تجربی را به دست آوردند [۳۲].

محققان ثابت کرده‌اند تلفات ناشی از تابعی از درصد جریان عبوری از توربین‌ها است [۳۴]. برای به حداقل رساندن شیب منحنی تلفات ناشی از یک کنترلگر که سرعت را به عنوان تابعی از جریان کنترل می‌کند، استفاده می‌کنند. درخور یادآوری است برای دستیابی به بازدهی ۸۰ درصد توربین لازم است تا ۸۵ درصد پرشدگی در باکت‌ها اتفاق بیفتد. در تحقیق انجام‌شده در نیروگاه آبی (Barrada) در شمال اسپانیا، پنج توربین پیچ ارشمیدس به صورت هم‌زمان راه‌اندازی و متغیرهای گشتاور، سرعت و جریان اندازه‌گیری و توان تولیدی و راندمان هم‌زمان محاسبه شد. در نتیجه این تحقیق ثابت شد که در صورت پر شدن کامل باکت‌ها از آب راندمان دستگاه کاهش چشمگیری را تجربه می‌کند. بنابراین، مقدار ۸۵ درصد پرشدگی باکت به عنوان عدد بهینه ثبت شد [۳۴]. کتاب نوربرگ کامل‌ترین محاسبات در زمینه تلفات ناشی از ارائه داده است که شرایط را در حالت پایدار در نظر می‌گیرد. علاوه بر آن، این کتاب به زبان آلمانی است که دسترسی و بهره‌برداری از آن را دشوار می‌کند [۳۹].

تلفات توان

در تحقیقات صورت‌گرفته توسط کوزین و لوبیتز [۳۲]، تلفات خروجی شامل تلفات ناشی، اصطکاک هیدرولیکی و تلفات توان غوطه‌وری جریان خروجی توربین است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده ضریب اصطکاک دارسی-وایسباخ در محاسبه اصطکاک هیدرولیکی دستگاه تأثیر مستقیم دارد اما برای تلفات غوطه‌وری جریان خروجی آن مدل مشخصی ارائه نشد [۳۲].

تأثیرات زیست‌محیطی

توربین پیچ ارشمیدس در هدهای پایین، معمولاً کمتر از ۲۰ متر، کار می‌کند. به طور عمده این دستگاه به عنوان یکی از

منابع انرژی تجدیدپذیر و توسعه پایدار به شمار می‌رود. بر اساس مطالعات صورت‌گرفته روی ماهی‌ها، مارماهی‌ها و سایر موجودات زنده که ممکن است در معرض عبور از توربین پیچ ارشمیدس قرار بگیرند، مشخص شد که تقریباً همه گونه‌های ماهی می‌توانند بدون آسیب از پیچ عبور کنند [۸ و ۴۰]. بنابراین، این توربین به علت داشتن شکل ابعاد و علاوه بر آن سرعت گردشی پایین، سازگار با اکثریت گونه‌های ماهی (مارماهی، قزل‌آلا و ماهی آزاد) هستند [۳۶]. به گونه‌ای که ماهی‌های زیر یک کیلوگرم در صورتی که حداکثر سرعت آب کمتر از ۴/۵ متر بر ثانیه باشد، توسط لبه تیغه مارپیچ آسیب نمی‌بینند [۳ و ۹]. علت این امر، ظاهر این توربین است که معمولاً قطر و گام سطح هلیکوئیدی (تیغه) بیشتر دارد و معمولاً سرعت گردشی آن به طور میانگین ۳۰ دور در دقیقه (rpm) است [۳ و ۴۱].

علاوه بر این، هزینه تمام‌شده به ازای هر وات برای یک توربین با سرعت ثابت ارشمیدس (ژنراتور AC) در مقایسه با هزینه یک توربین با سرعت چرخشی تنظیم‌شده (DC)، کمتر است. این نتیجه‌گیری پس از تجزیه و تحلیل ۲۹ توربین پیچ ارشمیدس نصب‌شده در اروپا ارائه شد که شامل مقایسه و اعمال نتایج ۱۷ توربین ثابت (با بازدهی ۶۷ درصد) و ۱۲ توربین غیر ثابت (با بازدهی ۵۷ درصد) بوده است [۲۹]. بدیهی است در صورتی که سرعت چرخشی توربین ثابت باشد (AC) از نظر اقتصادی کارآمد خواهد بود، اما این مهم منوط به دبی جریان ثابت است که فقط منوط به احداث روی یک سد کوچک و دریاچه مصنوعی است [۳].

مزایای پیچ ارشمیدس

هزینه‌های پیچ

انتظار می‌رود هزینه‌های کلی عملیات و نگهداری از توربین پیچ ارشمیدس کمتر از سایر توربین‌ها باشد [۴۲]. تعمیر و نگهداری منظم دستگاه شامل بررسی سطح مایع و تعویض کارتریج‌های گریس در یاتاقان و گیربکس بالایی است. بلبرینگ‌های پایین معمولاً طوری طراحی می‌شوند که بدون هیچ‌گونه تعمیر و نگهداری تا زمان تعویض کار کنند [۴۳]. این توربین‌ها نقاط سایش کمی دارند و سرعت عملیاتی آن‌ها کم است و باعث کاهش سایش و مشکلات آب‌شستگی می‌شود. انواع رایج فرسایش فیزیکی و شیمیایی فقط در فرورفتگی پره‌ها رخ می‌دهد. تعمیر و

1. Borda-Carnot equation

برای مکان‌ها و شرایط جریان مختلف وجود ندارد [۴۹] و تنها تحقیقات محدودی در این زمینه انجام شده است. البته در ادبیات غیرانگلیسی، منابعی جدید به زبان آلمانی، درباره محاسبه و طراحی پیچ‌های ارشمیدس [۴] موجود است، اما قادر به ارائه یک مدل طراحی جامع مبتنی بر فیزیک برای توربین پیچ ارشمیدس نیست [۴۹ و ۱۰].

محل‌های احداث و بهره‌برداری

در حالی که برای ساخت سدهای بزرگ به شرایط بسیار خاصی نیاز است، این موضوع در انتخاب مکان مناسب برای نیروگاه‌های برق آبی پیچ ارشمیدس کمتر است. این نیروگاه‌ها می‌توانند با ارتفاع هیدرولیکی بین (۱-۶) متر و نرخ جریان بین (۰/۱-۶) متر مکعب بر ثانیه کار کنند و تولید برق در بازه (۱-۳۰۰) کیلووات داشته باشند [۵۰].

توربین‌های پیچ ارشمیدس می‌توانند حتی در هدها و جریان‌های بسیار کم به طور مؤثر عمل کنند. به صورت ایده‌آل، در صورتی که جریان آب برقرار باشد از این توربین‌ها می‌توان برای برقراری زنجیره‌ای از نیروگاه‌های برق آبی کوچک استفاده کرد. بنابراین، این توربین‌ها می‌توانند به تولید برق برای مناطق صعب‌العبور یا توسعه‌نیافته که اتصال آن‌ها به شبکه برق دشوار، پرهزینه و یا حتی غیرممکن است، کمک کند. شکل (۴-چپ) نقشه شماتیک نیروگاه زنجیره‌ای پیچ ارشمیدس و شکل (۴-راست) اجرای چنین زنجیره‌ای از توربین‌ها را در یک کانال آبیاری کنار جاده که برای تأمین برق چراغ‌های مجاور خیابان در ژاپن استفاده شده است، نشان می‌دهد.

ایده نصب توربین‌ها به صورت سری در زنجیره نیروگاه‌های آبی کوچک می‌تواند پتانسیل تولید برق آبی تجدیدپذیر را در مکان‌هایی که جریان کم و هد تا حدودی بالاتر از حد مناسب برای یک توربین منفرد است، افزایش دهد. در مکان‌های مناسب، نصب زنجیره‌های توربین پیچ ارشمیدس به صورت سری می‌تواند علاوه بر کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای^۱ (GHG) مزایای متعددی داشته باشد [۴]:

- اجازه تولید نیروی برق آبی در مانند دشت‌های نسبتاً هموار که شرایط مناسبی برای احداث سدهای بزرگ وجود ندارد.

نگهداری عمده این توربین معمولاً پس از ۲۰ تا ۳۰ سال برای یاتاقان پایینی مورد نیاز است [۴۴]. هنگامی که بلبرینگ پایینی و فرورفتگی تعویض می‌شوند، معمولاً پیچ‌ها بازسازی می‌شوند [۴۲]. از آنجا که هزینه‌های نگهداری و عملیاتی توربین‌های پیچ ارشمیدس نسبت به سایر میکروتوربین‌های آبی [۴۵] کمتر است، می‌توان آن‌ها را به عنوان یکی از بهترین گزینه‌ها برای مناطق توسعه‌نیافته و مناطق بدون دسترسی آسان مانند ارتفاعات بلند کوه‌ها یا جوامع کوچک دور که در آن اتصال به شبکه‌های مرکزی آسان و به‌صرفه نیست، در نظر گرفت.

طبیعت و پیچ ارشمیدس

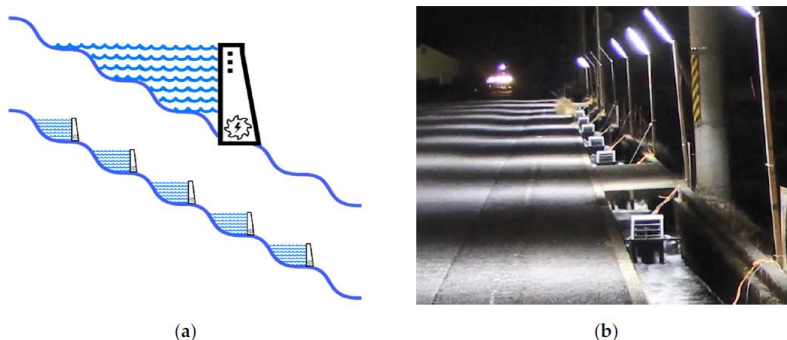
سدها اتصال طبیعی یک رودخانه را بین مناطق بالادست و پایین‌دست مسدود می‌کنند. بنابراین، اکوسیستم منطقه دستخوش تغییرات منفی از جمله مهاجرت و یا انقراض دائمی گونه‌های گسترده می‌شود که حتی پس از از بین بردن سدها قابل جبران نیست [۴۶]. توجه به این نکته ضروری است که اثرات منفی بر اکوسیستم‌ها تنها به سدهای بزرگ محدود نمی‌شود. هر گونه اختلال در فرایندهای طبیعی، از جمله ساخت سازه‌های هیدرولیکی، مانند سرریزهای کوچک و حتی تأسیسات برق آبی کم‌ارتفاع نیز می‌تواند عوارض جانبی داشته باشد [۴]. مطالعات انجام‌شده روی ماهی‌های عبوری از توربین‌های پیچ ارشمیدس نشان داد بین ۹۸ تا ۹۹ درصد ماهی‌ها هنگام عبور از توربین آسیب نمی‌بینند [۴۷]. همچنین، نتایج مشابه در یک مطالعه بریتانیایی [۴۱] نشان داد مارماهی و ماهی قزل‌آلای جوان و ماهی‌های سبک‌تر از ۱ کیلوگرم می‌توانند بدون هرگونه آسیب از یک توربین پیچ ارشمیدس که با سرعت‌های معمولی در حال چرخش است، عبور کنند [۴۸].

معایب پیچ ارشمیدس

تکنولوژی نوظهور و نیاز به مطالعه بیشتر دستگاه

نگاهی به تاریخچه استفاده از پیچ‌های ارشمیدس به عنوان ژنراتور نشان می‌دهد این یک فناوری نسبتاً جدید است و هیچ تئوری کامل یا استانداردها یا قوانین کلی برای طراحی بهینه هیدرولیک توربین پیچ ارشمیدس وجود ندارد و نیروگاه آبی و طراحی آن‌ها به‌شدت به تجربه مهندس طراح وابسته است [۳۸]. به نظر می‌رسد راهنمایی انگلیسی کافی برای طراحی بهینه این توربین‌ها

1. greenhouse gas



شکل ۵. شکل (چپ) نقشه شماتیک نیروگاه زنجیره‌ای پیچ ارشمیدس و شکل (راست) اجرای چنین زنجیره‌ای از توربین‌ها را در یک کانال آبیاری کنار جاده که برای تأمین برق چراغ‌های مجاور خیابان در ژاپن [۵۱]

دارد. این توربین‌ها انرژی پاک و تجدیدپذیر را ارائه می‌دهند و برای حمایت از توسعه پایدار، دارای مزایای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی هستند. همچنین، به علت پایین بودن سرعت چرخشی این نوع توربین، اثرات منفی بر آبیان و ماهی‌ها تا حد اکثر مقدار ممکن کاهش می‌یابد. علاوه بر این، طیف وسیعی از مزایای عملی را برای تولید انرژی الکتریکی در مکان‌های مناسب فراهم می‌کنند. مکان‌های صعب‌العبور و یا دورافتاده که امکان نصب و بهره‌برداری نیروگاه‌های دیگر وجود ندارد، توربین پیچ ارشمیدس بهترین انتخاب است. البته توجه به این نکته ضروری است که توربین‌های پیچ ارشمیدس یک راه حل منحصربه‌فرد جهانی برای تمام نیازهای تولید انرژی نیستند و آن‌ها مانند سایر فناوری‌ها معایب خاص خود را دارند از جمله:

استفاده از پیچ‌های ارشمیدس به عنوان تولیدکننده برق یک فناوری نسبتاً جدید است و در مقایسه با سایر فناوری‌های برق‌آبی، موارد ناشناخته زیادی در مورد آن‌ها وجود دارد. در حال حاضر، هیچ استاندارد برای طراحی این دستگاه‌ها وجود ندارد و طراحی نیروگاه‌های آبی به‌شدت به تجربه مهندس طراحی‌کننده آن‌ها بستگی دارد. علاوه بر این، مطالعات صورت‌گرفته در زمینه محاسبه تلفات و بازدهی دستگاه محدود و در مواردی تجربی بوده که نیازمند مطالعه دقیق‌تر به کمک روش‌های عددی و نرم‌افزاری است.

۱. افزایش تعداد سایت‌های مناسب برای تولید برق حتی در سایت‌هایی با دبی بسیار کم و/یا هد آب. توربین‌های پیچ ارشمیدس را می‌توان برای کارکرد در

کاهش تلفات برق در شبکه توزیع با تولید برق در نزدیکی محل مورد نیاز به عنوان مثال در واحدهای آبی‌پروری و کشاورزی، که باعث کاهش هزینه شبکه توزیع می‌شود.

کاهش فرسایش و اختلال در فرایندهای رسوب‌گذاری طبیعی

رسوبات معلق می‌توانند باعث فرسایش سطوح اجزای توربین‌های سنتی شوند، به‌ویژه زمانی که رسوبات از مواد سختی مانند کوارتز و فلدسپات تشکیل شده باشند. بنابراین، برای جلوگیری از مشکلات مربوط به رسوب در نیروگاه‌های آبی کوچک، ساخت حوضه‌های ته‌نشینی برای حذف رسوبات مورد نیاز است، اما اغلب غیراقتصادی است. علاوه بر این، حتی اگر هزینه‌های ساخت‌وساز و بهره‌برداری نادیده گرفته شود، هیچ تضمینی برای حذف کامل رسوبات معلق قبل از ورود آب به توربین وجود ندارد [۵۲]. به خلاف بسیاری از توربین‌های سنتی، رسوبات معلق می‌توانند از طریق پیچ ارشمیدس به علت سرعت چرخشی پایین دستگاه و مقاوم بودن بدنه با کمترین تأثیرگذاری عبور کنند، درنهایت به کاهش فرسایش خاک و هزینه‌های نگهداری مرتبط با حوضچه‌های ته‌نشینی کمک شایانی می‌کند. علاوه بر آن، سبب می‌شود تا عمر مفید مخازن و سدها در بالادست جریان افزایش یابد [۵۳].

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

توربین‌های پیچ ارشمیدس شکل جدیدی از توربین‌ها برای نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک هستند که امکان بهره‌برداری از آن‌ها در مکان‌های با ارتفاع هیدرولیکی پایین نیز وجود

طیف وسیعی از نرخ‌های جریان (در حال حاضر، از ۰/۱ تا ۱۰ متر مکعب بر ثانیه) و ارتفاع آب (در حال حاضر، از ۰/۱ تا ۱۰ متر) طراحی کرد، از جمله در مکان‌هایی که انواع دیگر توربین‌ها ممکن است امکان‌پذیر نباشد. این باعث افزایش تعداد سایت‌های بالقوه مناسب برای نیروگاه‌های آبی می‌شود.

۲. به حداکثر رساندن تولید برق آبی حتی در رودخانه‌هایی با نوسانات نرخ جریان بالا. توربین‌های پیچ ارشمیدس می‌توانند نرخ جریان را حتی تا ۲۰ درصد بیشتر از پر کردن بهینه بدون کاهش قابل توجهی در کارایی کنترل کنند [۶۳]. حتی زمانی که شرایط برای یک پیچ کامل نیست، نصب بیش از یک پیچ و استفاده از توربین‌های پیچ ارشمیدس با سرعت متغیر، به توسعه‌دهندگان این امکان را می‌دهد که به طور کامل از جریان موجود در محدوده وسیع‌تری از سایت‌ها، از جمله مکان‌هایی که دارای تنوع فصلی بالا هستند، استفاده کنند.

۳. مقاوم‌سازی سدهای قدیمی یا ارتقای سدها یا آسیاب‌های فعلی به منظور منطقی ساختن آن‌ها از نظر اقتصادی (تولید برق) و زیست‌محیطی (انرژی‌های تجدیدپذیر). استفاده از توربین‌های پیچ ارشمیدس به عنوان ارتقا برای مقاوم‌سازی سدهای قدیمی یا ارتقای سدهای عملیاتی، افزودن تولید برق با اثرات زیست‌محیطی افزایشی بسیار کم، با هزینه‌های معقول و با پتانسیل خوب برای اثرات اجتماعی کم را امکان‌پذیر می‌کند و در عین حال انگیزه‌ای برای حفظ سدها و زیرساخت‌های قدیمی ایجاد می‌کند. توربین‌هایی که در این روش استفاده می‌شوند، می‌توانند به کاهش مصرف سوخت فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای با جایگزین کردن برق تولیدشده توسط روش‌های آلاینده‌تر کمک کنند.

۴. برای کاهش هزینه‌های عملیاتی و/یا تعمیرات اساسی برق آبی: علاوه بر بهسازی/به‌روزرسانی مزایای سدهای فعلی، در سایت‌های مناسب، هزینه‌های سرمایه‌ای نیروگاه آبی توربین پیچ ارشمیدس می‌تواند کمتر از سایر فناوری‌های برق آبی باشد. نیازهای کلی تعمیر و نگهداری و هزینه‌های توربین‌های پیچ ارشمیدس اغلب کمتر از سایر توربین‌ها است. تعمیر و نگهداری عمده بعد از ۲۰ تا ۳۰ سال مورد نیاز است.

۵. کاهش اختلال در فرایندهای فرسایش طبیعی و رسوب‌گذاری که می‌تواند منجر به حفظ خاک و اراضی شود.

۶. ایمن‌سازی تولید برق آبی برای حیات وحش آبی، به‌ویژه برای ماهی‌ها.

۷. تولید برق برای جوامع کوچک یا مناطقی که دسترسی یا اتصال به شبکه برق سخت است، به‌ویژه به دلیل نیازهای عملیاتی و نگهداری کم و هزینه‌های توربین‌های پیچ ارشمیدس که این ویژگی‌های عنوان‌شده این نوع توربین‌ها را به یک کاندید بالقوه برای تأمین نیروی الکتریکی در مناطق توسعه‌نیافته، دورافتاده و جوامع کوچکی که در حال حاضر فاقد زیرساخت انرژی هستند، تبدیل می‌کند.

۸. بهبود رفاه کشورهای در حال توسعه و مناطق با دسترسی محدود به شبکه برق یا زیرساخت‌های دیگر. به رغم بسیاری از فناوری‌های دیگر، توربین‌های پیچ ارشمیدس برای طراحی، پیاده‌سازی، بهره‌برداری یا نگهداری به قابلیت‌های تولید بالا و فناوری‌های پیشرفته نیاز ندارند. سادگی، تقاضاهای عملیاتی کم و هزینه‌های متوسط، این نوع توربین‌ها را به یک راه حل عملی سازگار با محیط زیست و پایدار برای تأمین انرژی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه تبدیل می‌کند. در مکان‌های دورافتاده با منبع آب کم، توربین‌های پیچ ارشمیدس ممکن است وسیله‌ای برای تأمین برق فراهم کنند که در غیر این صورت در جوامع در حال توسعه غیرعملی است. بهبود اقتصاد و رفاه چنین جوامعی یک رویکرد توسعه پایدار آینده‌نگر برد-برد است که می‌تواند با استفاده از نیروگاه‌های برق آبی پیچ ارشمیدس تسهیل شود.

منابع

- [1].Chris Rorres. The Turn of the Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw.pdf. J Hydraul Eng. 2000;126(1) .
- [2].Lubitz WD. Gap Flow in Archimedes Screws. CSME International Congress 2014. 2014. p. 1–6 .
- [3].Dedić-Jandrek H, Nižetić S. Small scale archimedes hydro power plant test station: Design and experimental investigation. Vol. 231, Journal of Cleaner Production. 2019. p. 756–71 .
- [4].Yoosefdoost A. Archimedes Screw Generators and Hydropower Plants: A Design Guideline and Analytical Models. 2022 .

- [5]. Cardano G. The Subtitle Libri. In Basel; 1584 .
- [6]. Koetsier T, Blauwendraat H. The Archimedean Screw-Pump: A Note on Its Invention and the Development of the Theory. International Symposium on History of Machines and Mechanisms. 2007. p. 181–94 .
- [7]. Over 2000 years in review: Revival of the Archimedes Screw from Pump to Turbine.pdf. Renew Sustain Energy Rev. 2015;51:497–505 .
- [8]. Rorres C. The Turn of the Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw. Vol. 126, Journal of Hydraulic Engineering. 2000. p. 72–80 .
- [9]. YoosefDoost A, Lubitz WD. Archimedes screw turbines: A sustainable development solution for green and renewable energy generation-a review of potential and design procedures. Vol. 12, Sustainability (Switzerland). 2020 .
- [10]. Milano PDI. in Laboratory and Full-Scale [Internet]. POLITECNICO DI MILANO; 2017. Available from: <https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/139659>
- [11]. Al. GD et. Computational Fluid Dynamics Modeling for Operational Data Centers. Renewable Energy; 2018. p. 847–57 .
- [12]. REN21. Key Messages for Decision Makers. Takeaways from the Renewables 2021 Global Status Report. [Internet]. 2021. p. 32. Available from: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Key_Messages.pdf
- [13]. Williamson SJ, Stark BH, Booker JD. Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis.pdf. Renew Energy. 2014;61:43–50 .
- [14]. Role of dams [Internet]. International Commission on Large Dams. 2014 [cited 2022 Mar 12]. Available from: https://www.icold-cigb.org/GB/Dams/role_of_dams.asp
- [15]. Sara Born; Kristin Field; Denali Lander; Michael Bendewald; Lauren Cooper; Timothy M. Dittrich; Denise W. Carlson. Water Resources: Why Do We Build Dams? [Internet]. 2022 [cited 2022 Mar 12]. Available from: https://www.teachengineering.org/lessons/view/cub_dams_lesson01
- [16]. McNally A, Magee D, Wolf AT. Hydropower and sustainability: Resilience and vulnerability in China's powersheds. Vol. 90, Journal of Environmental Management. 2009 .
- [17]. Shahverdi K. Investigating the effect of tail water depth on Archimedes screw turbine in generating energy from flowing water in canals. 2021. p. 0–8 .
- [18]. Brada K. Wasserkraftschnecke ermöglicht Stromerzeugung über Kleinkraftwerke (Hydrodynamic screw enables power generation via small power plants). Masch Würzburg. 1999;105:52–6 .
- [19]. Nikbakhsh A, Izadfar H, Beromi YA. Design and optimization of permanent magnet synchronous generator for use in hydrodynamic renewable energy by applying ACO and FEA. Vol. 18, IIUM Engineering Journal. 2017. p. 158–76 .
- [20]. Kamal Kashyap, Robin Thakur, Sunil Kumar RK. Identification of Archimedes Screw Turbine for Efficient Conversion of Traditional Water Mills (Gharats) into Micro Hydro-power Stations in Western Himalayan Regions of India: An Experimental Analysis. Int J Renew Energy Res [Internet]. 10(No 3):1451–63. Available from: https://www.researchgate.net/publication/344432967_Identification_of_Archimedes_Screw_Turbine_for_Efficient_Conversion_of_Traditional_Water_Mills_Gharats_into_Micro_Hydro-power_Stations_in_Western_Himalayan_Regions_of_India_An_Experimental_Analysis
- [21]. Vitruvius. Vitruvius: On Architecture. Harvard University Press; 1931. Volume I, Books 1-5 .
- [22]. On the Analytical and Computational Methodologies for Modelling Two-wheeled Vehicles within the Multibody Dynamics Framework A Systematic Literature Review.pdf. Shahid Chamran University of Ahvaz; p. 8(1) (2022) 153-181 .
- [23]. Dalley S. The Mystery of the Hanging Garden of Babylon: An Elusive World Wonder Traced. First. Oxford University Press ;
- [24]. Sir Thomas Heath. A History of Greek Mathematics: From Aristarchus to Diophantus [Internet]. Revised ed. Dover Publications; 1981. 464 p. Available from: <https://www.wilbourhall.org/pdfs/heath/heathvol1.pdf>
- [25]. H. D. Anthony. The Mechanical Technology of Greek and Roman Antiquity. Br J Hist Sci. 1963;285–6 .
- [26]. Beck T. Beiträge Zur Geschichte des Maschinenbaues. Berlin: Julius Springer; 1900 .
- [27]. Debus AG, Gille B. Engineers of the Renaissance. Vol. 72, The American Historical Review. The M.I.T.Press Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Massachusetts; 1967. 1341 p .

- [28]. Songin K. Experimental Analysis of Archimedes Screw Turbines By. The University of Guelph; 2017 .
- [29]. Lashofer A, Hawle W, Pelikan B. State of technology and design guidelines for the Archimedes screw turbine [Internet]. The international Journal on Hydropower & Dams, Hydro 2012 - Proceedings. 2012. p. 1–8. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/281347248>
- [30]. Shahverdi K, Loni R, Maestre JM, Najafi G. CFD numerical simulation of Archimedes screw turbine with power output analysis. Vol. 231, Ocean Engineering. 2021 .
- [31]. Quaranta E. The Revival of Old Hydraulic Turbines for Innovative Hydropower Generation: Water Wheels, Archimedes Screws, Deriaz and Girard Turbines. Curr Trends Civ Struct Eng. 2020;5(5) .
- [32]. Kozyn A, Lubitz WD. A power loss model for Archimedes screw generators. Vol. 108, Renewable Energy. 2017. p. 260–73 .
- [33]. A. G. Drachmann. How Archimedes Expected to move the earth. 1958;5:278–82. Available from: <https://philpapers.org/rec/DRAHAE>
- [34]. Alonso-Martinez M, Sierra JLS, Díaz JJDC, Martinez-Martinez JE. A new methodology to design sustainable archimedean screw turbines as green energy generators. Vol. 17, International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. p. 1–14 .
- [35]. Salam A, Issac JM, Markose B. Numerical Study of Archimedean Screw Turbine [Internet]. Vol. 5, International Research Journal of Engineering and Technology. 2018. p. 4–8. Available from: www.irjet.net
- [36]. Dellinger G, Simmons S, Lubitz WD, Garambois PA, Dellinger N. Effect of slope and number of blades on Archimedes screw generator power output.pdf. Renew Energy. 2019;136:896–908 .
- [37]. Gianluca Zitti, Fernando Fattore, Alessandro Brunori, Bruno Brunori MB. Efficiency evaluation of a ductless Archimedes turbine.pdf. Renew Energy. 2019 ;
- [38]. Chris Rorres; Dirk Nuernbergk. Analytical Model for Water Inflow of an Archimedes Screw Used in Hydropower Generation.pdf. J Hydraul Eng. 2013;139(2):213–20 .
- [39]. Rohmer, J., Knittel, D., Sturtzer, G., Flieller, D., & Renaud J. Modeling and experimental results of an Archimedes screw turbine Julien.pdf. 2016. p. 136–46 .
- [40]. Cappi A. Hydropower Turbine Types Comparison for Ebley Mill, Stroud. Water21. 2012 ;
- [41]. Kibel P, Pike R CT. The Archimedes screw turbine: Assessment of three leading edge profiles. Fishtek Consult. 2009 ;
- [42]. Martin. Maintaining Archimedes Screw pumps [Internet]. <http://www.ecsengineeringservices.com/>. Available from: <http://www.ecsengineeringservices.com/maintaining-archimedes-screw-pumps/>
- [43]. Archimedes Screw Pumps [Internet]. <http://www.ecsengineeringservices.com/>. Available from: <http://www.ecsengineeringservices.com/archimedes-screw-pumps/>
- [44]. SBH. Archimedean Screw Turbine [Internet]. Available from: <https://www.spaansbabcock.com/references/unterzeirung-austria/>
- [45]. Lisicki M, Lubitz W, Taylor GW. Optimal design and operation of Archimedes screw turbines using Bayesian optimization. Vol. 183, Applied Energy. 2016. p. 1404–17 .
- [46]. Pringle CM, Freeman MC, Freeman BJ. Regional effects of hydrologic alterations on riverine macrobiota in the New World: Tropical-temperate comparisons. Bioscience. 2000;50(9):807–23 .
- [47]. McNabb CD, Liston CR, Borthwick SM. Passage of Juvenile Chinook Salmon and other Fish Species through Archimedes Lifts and a Hidrostral Pump at Red Bluff, California. Trans Am Fish Soc. 2003;132(2):326–34 .
- [48]. Mann C, Consulting P. FISHTEK consulting Archimedes Screw Turbine Fisheries Assessment. Phase II : Eels and Kelts .
- [49]. Lubitz WD, Lyons M, Simmons S. Performance Model of Archimedes Screw Hydro Turbines with Variable Fill Level. J Hydraul Eng. 2014;140(10):1–11 .
- [50]. Senior JA. Hydrostatic Pressure Converters for the Exploitation of Very Low Head Hydropower Potential [Internet]. University of Southampton; 2009. Available from: <http://eprints.soton.ac.uk/id/eprint/73702>
- [51]. Ultra-Small Water Power Generator [Internet]. Available from: <https://youtu.be/XjEgFIngZ04>

- [52]. Kang MW, Park N, Suh SH. Numerical Study on Sediment Erosion of Francis Turbine with Different Operating Conditions and Sediment Inflow Rates. *Procedia Eng* [Internet]. 2016;157:457–64. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.389>
- [53]. Rinaldi M, Gurnell A, Mary Q, Belletti B, Bizzi S. Final report on methods , models , tools to assess the hydromorphology of rivers , Deliverable 6. 2 , Part 1 , of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management), a Collabor... REstoring rivers FOR effective catchment Management. 2015;(October).
- [54]. Bill Gates. How to avoid a climate disaster. New Delhi, India: Allen Lane; 2021. 272 p .
- [55]. Shahverdi K. Archimedes Screw Turbine Modeling using FLOW3D and Investigating Blade Number Effect on its Performance. *J Dam Hydroelectr Powerpl*. 7th Year /.