

تصميم واختبار أداء عنفة مائية حلزونية في شروط جريان (نهر الخوابي) لمعرفة تأثير زاوية الميل والتدفق على كفاءتها

د. عدنان عمران *

د. فادي علي **

م. علي ريه ***

(تاريخ الإيداع 2023/8/28 . قبل للنشر في 2023/11/2)

□ ملخص □

تم في هذه الدراسة اختبار تأثير التدفق و زاوية الميل على كفاءة العنفة الحلزونية باستخدام برنامج (ANSYS R1 2019) للتنبؤ بسلوك النموذج وتحسينه من خلال تطبيق نموذج الاضطراب (k-ε) لتحليل حركة المائع وتقييم أداء العنفة الحلزونية عند سرعات تدفق مختلفة وقيم مختلفة لخطوة الحلزون، إضافة لتجربة عملية لمعرفة تأثير زاوية الميل والتدفق على كفاءة العنفة في نهر الخوابي في ريف محافظة طرطوس، بينت الدراسة الرقمية تأثر حقلي الضغط والسرعة بخطوة الحلزون حيث تحقق لدينا أفضل تدرج للضغط مع انخفاض سرعة التدفق التسريبي من الفجوة بقيمة (5m/s) عند خطوة حلزون مساوية للقطر الخارجي (18.8cm)، تظهر التجربة العملية تأثر زيادة ضياعات التسرب بشكل كبير بزيادة الانحدار حيث عند زاوية ميل 7.7° تم تحقيق أعلى كفاءة للعنفة ومع زيادة زاوية الميل حتى 20.9° تنخفض الكفاءة بنسبة (47%) للزيادة في التدفق المتسرب عبر الفجوة

الكلمات المفتاحية: العنفة الحلزونية، المجرى، زاوية الميل، خطوة الحلزون، الفجوة

*أستاذ في قسم تقانات الطاقات المتجددة، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس.

**مدرس، قسم تقانات الطاقات المتجددة، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس.

***طالب دراسات عليا (ماجستير)، قسم تقانات الطاقات المتجددة، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس.

Design and Testing The Performance Of A Screw hydro Turbine under flow condition of (Khawabi River) to investigate the influence of inclination angle and flow rate on its efficiency.

(Received 28/8/2023 . Accepted 2/11/2023)

□ ABSTRACT

In this study, the impact of flow rate and inclination angle on the efficiency of the screw turbine was tested. The software ANSYS R1 2019 was used to predict and improve the model's behavior through the application of the k- ϵ turbulence model for analyzing fluid motion and assessing the hydraulic performance of the screw turbine at different flow rates and spiral step values. Additionally, a practical experiment was conducted to investigate the effect of inclination angle and flow rate on the turbine's efficiency in the Khwabi River, located in the countryside of Tartus Governorate. The digital study revealed the influence of spiral step on pressure and velocity fields, showing a better pressure gradient with a decrease in leakage flow velocity from the gap by 5 m/s at a spiral step equal to the outer diameter of 18.8 cm. The practical experiment demonstrated a significant increase in leakage losses with an increase in slope angle. The highest turbine efficiency was achieved at an inclination angle of 7.7° , while the efficiency decreased by 47% with an increase in inclination angle up to 20.9° due to the increased flow leakage through the gap.

Keywords: screw turbine, channel, inclination angle, spiral step, gap

* Professor, Department of renewable energy, Faculty of Technical Engineering, Tartous University.

** Professor, Department of renewable energy, Faculty of Technical engineering Tartous University.

*** Master Student, Department of renewable energy, Faculty of Technical Engineering Tartous University.

1. المقدمة

تعرف الطاقة الكهرومائية بأنها أحد أشكال الطاقة المتجددة، يتم إنتاجها بالاستفادة من تدفق مياه الأنهار والسدود والتي تعمل على تحريك شفرات العنفات المائية لإنتاج طاقة ميكانيكية، ومن ثم يقوم مولد كهربائي بتحويل هذه الطاقة إلى طاقة كهربائية وهي طاقة نظيفة وآمنة ولا تسبب أي تلوث، إن الطاقة المائية تمثل حوالي (17%) من إجمالي إنتاج الكهرباء حول العالم و 57.72% من إجمالي الطاقات المتجددة في العالم، إن قيمة استهلاك الطاقة المائية في العالم في عام 2019 بلغ (4.222 TWh) [1] ، حصة الطاقة المائية من الطاقة المنتجة في العالم وفي سوريا (17%) و (5%) على التوالي ، تنقسم عنفات التوليد المائية إلى ثلاثة أنواع رئيسية: عنفة بيلتون تستخدم في المناطق ذات التدفقات الصغيرة والارتفاعات الكبيرة [6]، عنفة فرانسيس تستخدم في المناطق ذات التدفقات والارتفاعات المتوسطة والكبيرة [5]، تستخدم عنفة كابلان في المناطق ذات التدفقات الكبيرة والارتفاعات المتوسطة والمنخفضة [4]. ولكن حيث الارتفاعات المنخفضة و التدفقات المتغيرة لا تثبت العنفات التقليدية جدارتها وخاصة بالنسبة لمحطات التوليد الصغيرة ،حيث الأنهار التي لا تقبل بناء سدود، وتعتبر الطاقة المائية مهدورة هنا يأتي دور العنفة الحلزونية كعنفة مائية قادرة على توليد الطاقة والاستفادة من الارتفاعات المنخفضة والتدفقات المتغيرة بكفاءة عالية تصل إلى (80 %) للنظام ككل [3]. فهي نوع من أنواع عنفات التوليد المائية تتألف من مجموعة من الشفرات الحلزونية المتصلة مع بعضها البعض مركبة على محور دوار وتستخدم في المناطق التي تتميز بتدفق المياه الصغير والمتوسط، وتعمل على الإنتاج الأفقي للطاقة الكهربائية [2] . تم القيام بالكثير من الدراسات البحثية لفهم عمل العنفة الحلزونية و تحديد العوامل المؤثرة على كفاءتها حيث قام باحثون من ايران واسبانيا بإجراء محاكاة عددية لتوربين ارخميدس باستخدام ديناميك الموائع الحسابي (CFD)، وذلك لتقييم كل من تغير سرعة الدوران والتدفق الحجمي وزاوية الميل على الكفاءة و أكد الباحثون تأثير زاوية الميل على الكفاءة حيث مع زيادة الزاوية تزداد الكفاءة لزيادة الارتفاع الرأسى حتى قيمة معينة ثم ينخفض بسبب زيادة الامتلاء وزيادة التسريب وكانت أعلى كفاءة ميكانيكية مسجلة (83%) عند تدفق (Q=1.51L/s) [7] . قام باحثون من إيران باستخدام نموذج هيدروديناميكي ICSS عن طريق البيئة البرمجية (MATLAB2013a)، في دراسة استبدال نقطة تفتيش لشبكة ري في خوزستان بعنفة حلزونية وكانت الطاقة الميكانيكية الناتجة من استخدام احدى نقاط التفتيش 21.5kw عند كفاءة متوقعة 90.83% [8]. قام باحثون من اسبانيا باختبار نموذج حاسوبي ونموذجين تجريبيين في شمال اسبانيا لتحديد منهجية تقريبية لعمل العنفة الحلزونية وتمت مقارنة النتائج مع الدراسات المرجعية وتبين أن المنهجية كانت جيدة في تمثيل كفاءتها كان عامل الملاء المحقق لأفضل مردود فعلي هو (85%) لتخفيفه من ضياعات زيادة الملاء [9]. قام كل من الباحث [10] و [11] بإجراء تحليل (CFD) للعنفة الحلزونية بالإضافة إلى التجارب المخبرية لتحديد تأثير الميل وعدد الشفرات على كفاءة العنفة الحلزونية وأشارت النتائج أن ضياعات التسرب وزيادة الملاء تزداد مع زوايا الميل العليا مما يؤثر على الكفاءة، عدد الشفرات الأمثل حسب الباحث [10] هي خمس و أربع شفرات من أجل زوايا الميل ما بين 20 و 24.5 درجة وثلاث شفرات عند زوايا الميل الأقل نسبياً.

تبحث هذه الدراسة تأثير كل من زاوية الميل والتدفق على كفاءة العنفة الحلزونية عند استخدامها في السواقي المائية قليلة الانحدار.

2. أهمية البحث وأهدافه

حظيت فكرة الاستفادة من العنفة الحلزونية في الأنهار والسواقي ذات الانحدارات القليلة والارتفاعات المنخفضة باهتمام متزايد على اعتبارها طاقة مهدورة قابلة للاستخدام في المحطات المائية الصغيرة حيث أن هذه الأنهار لا تقبل بناء السدود أو تركيب العنفات التقليدية الغير مجدية عند الارتفاعات والتدفقات المنخفضة إضافة لضررها بالثروة السمكية.

يهدف هذا البحث إلى :

تصميم وتصنيع عنفة حلزونية من المواد المتوفرة محلياً وبتكلفة منخفضة بحيث يكون التصميم مناسب للتدفقات المتوفرة لدينا واختباره في نهر الخوابي، يتم استخدام (Ansys 2019R1) في عملية التصميم لاختيار الخطوة المناسبة للحلزون، كذلك يتم اجراء اختبارات تجريبية حول تأثير زاوية الميل والتدفق على العنفة الحلزونية

3. طريقة البحث ومواده

لقد تمت مقارنة توزيع حقلي الضغط والسرعة لنماذج مختلفة عند سرعات متغيرة للتأكد من عدم وجود تدفقات عكسية، تمت المقارنة الرقمية عن طريق الاعتماد على ديناميك الموائع الحسابي (CFD) لحل معادلات (Navier-Stokes) باستخدام برنامج (Ansys 2019R1) عند سرعات تدفق [2m/s, 5m/s, 7m/s]، ذلك لخطوة شفرة [9.4cm, 18.8cm, 37.6cm] وكان قطر المحور الدوار (10.9cm) موافقاً لقطر المحور للنموذج التجريبي وقطر المجرى (18.8cm) حسب نسبة القطر الداخلي للقطر الخارجي المثلى، وطول المحور (112.8cm). تم استخدام نموذج الاضطراب k-ε (standered) [11].

1.3. المعادلات الحاكمة

تم تعيين معادلات تدفق الماء كسائل غير قابل للانضغاط على النحو التالي:

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (1)$$

الاستمرارية:

$$\text{حيث: } V = \text{حجم المائع (M}^3\text{)}$$

$$\text{معادلة نافير-ستوكس للموائع غير القابلة للانضغاط: (2)}$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} - \nu \nabla^2 \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \mathbf{g}.$$

حيث:

$$\mathbf{g} = \text{الجاذبية الأرضية (m.s}^{-2}\text{)}$$

$$\rho = \text{تمثل الكتلة الحجمية للمائع (Kg.m}^{-3}\text{)}$$

$$P = \text{الضغط (N.m}^{-2}\text{)}$$

$$\nu = \text{اللزوجة الحركية (m}^2\text{.s}^{-1}\text{)}$$

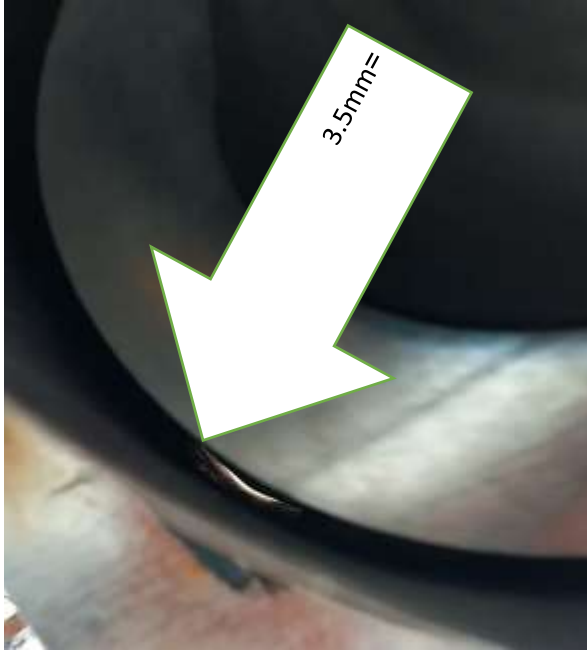
$$t = \text{الزمن (s)}$$

$$\nabla = \text{المتجه الشعاعي للاشتقاق}$$

2.3. الجهاز التجريبي

يوضح الشكل (1) العنفة الحلزونية المصممة محلياً، حيث تم اختيار المحور الدوار من أنابيب (PVC) ذات كثافة ($\rho = 1.4 \text{ g.cm}^{-3}$) لخفته، مادة الشفرات من الصاج المزيبق لمقاومته للصدأ ذات الكثافة ($\rho =$)

و السماكة (1.5mm) مع المجرى المصنوع من الصاج العادي ذات الكثافة ($\rho = 786 \text{ g.cm}^{-3}$) و السماكة (0.8mm)، تم لحام الشفرات مع بعضها البعض و تثبيتها على المحور الدوار بإحكام بعد اخذ القياسات اللازمة لذلك ، كانت خطوة الشفرة مساوية (18.8cm)، القطر الداخلي للدوار مساوي (10.9cm)، طول الشفرة (3.6cm) والفجوة بين الشفرة المجرى (3.5mm).



الشكل (1) الجزء الدوار من العنفة الحلزونية والعنفة بعد التركيب والفجوة بين الشفرات والمجرى

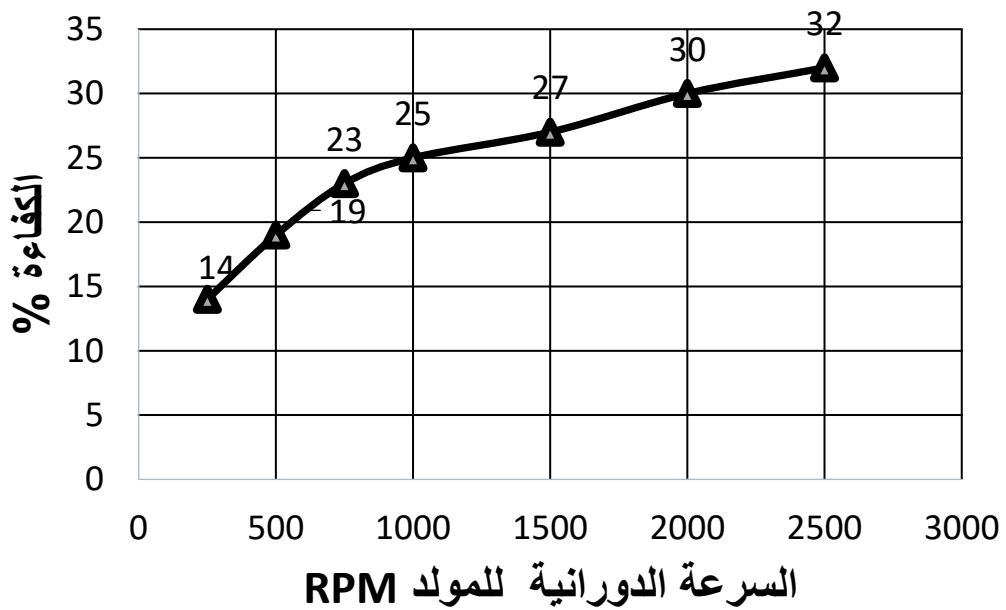
الشكل (2) يبين العنفة الحلزونية بالشكل النهائي بعض تركيب الإضافات المكونة من بكرتين وسير إسفيني لرفع السرعة بنسبة تحويل سرعة مساوي لـ ($I = \frac{v_{\text{مولد}}}{v_{\text{العنفة}}} = 6.5$)، تم اختيار مولد كهربائي مصنوع يدوياً موضح بالشكل (3) لمراقبة تغير بارامترين اثنين وهما التدفق وزاوية الميل وأثر ذلك على عمل العنفة من حيث تغير السرعة الدورانية والاستطاعة الكهربائية الناتجة.



الشكل (2) العنفة الحلزونية بالشكل النهائي مع نظام تحويل السرعة



الشكل (3) المولد المصنوع يدوياً ذو الدائر المغمر بالإيبوكسي



الكفاءة الكهربائية للمولد الكهربائي ▲

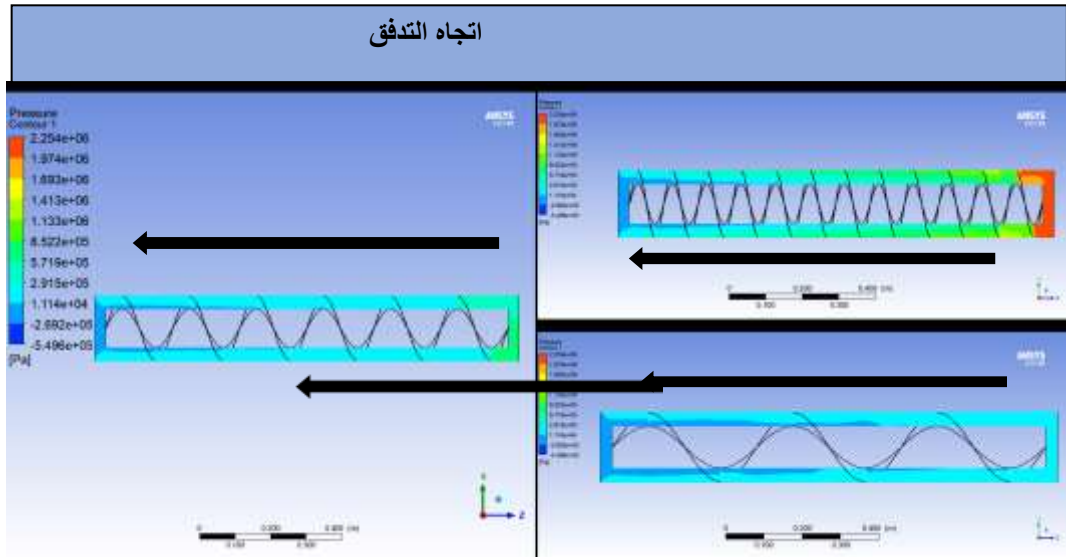
الشكل (4) مخطط الكفاءة للمولد الكهربائي بالنسبة للسرعة الدورانية من قبل المصنع

الجدول (1) مواصفات المولد من قبل المصنع

40 (W)	الاستطاعة الكهربائية (P)
2500 (RPM)	السرعة الدورانية (RPM)
120 لفة	عدد اللفات الثابت
3	عدد أزواج أقطاب الدوار

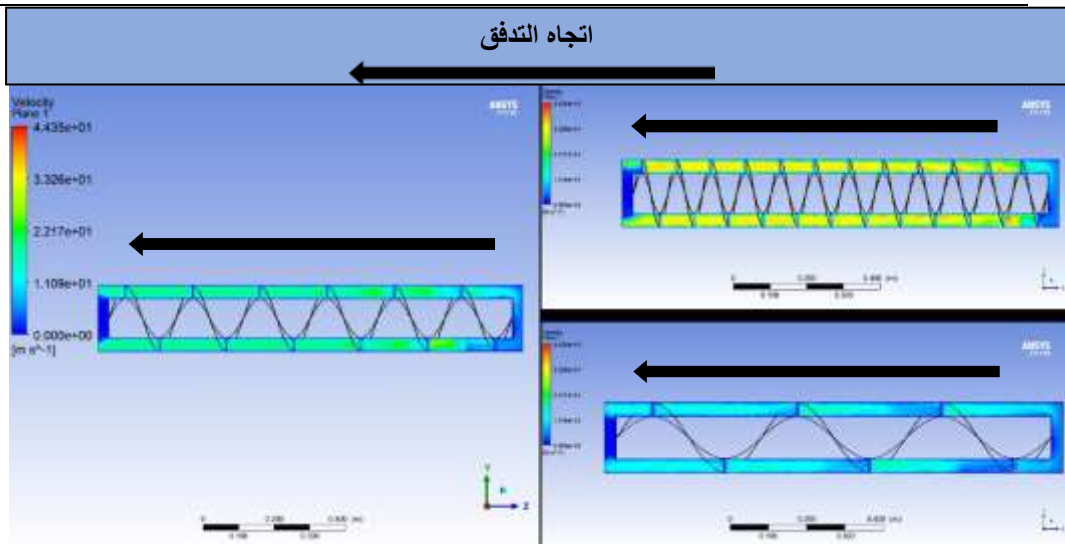
4. النتائج والمناقشات

1.4. مقارنة تأثير خطوة الشفرة وسرعة التدفق على توزيع حقل الضغط والسرعة ضمن العنفة الحلزونية
يوضح الشكل (5) والشكل (6) توزيع كل من الضغط والتدفق ضمن العنفة الحلزونية على التوالي، يبين السهم الأسود اتجاه التدفق.
تم اعتماد ثلاث قيم للخطوة لمعرفة التغير في الضغط وسرعة التدفق.



الشكل (5) توزيع الضغط عند خطوة عنفة مساوية لضعف القطر الخارجي (P=188mm) و (P=376mm) و (P=94mm)

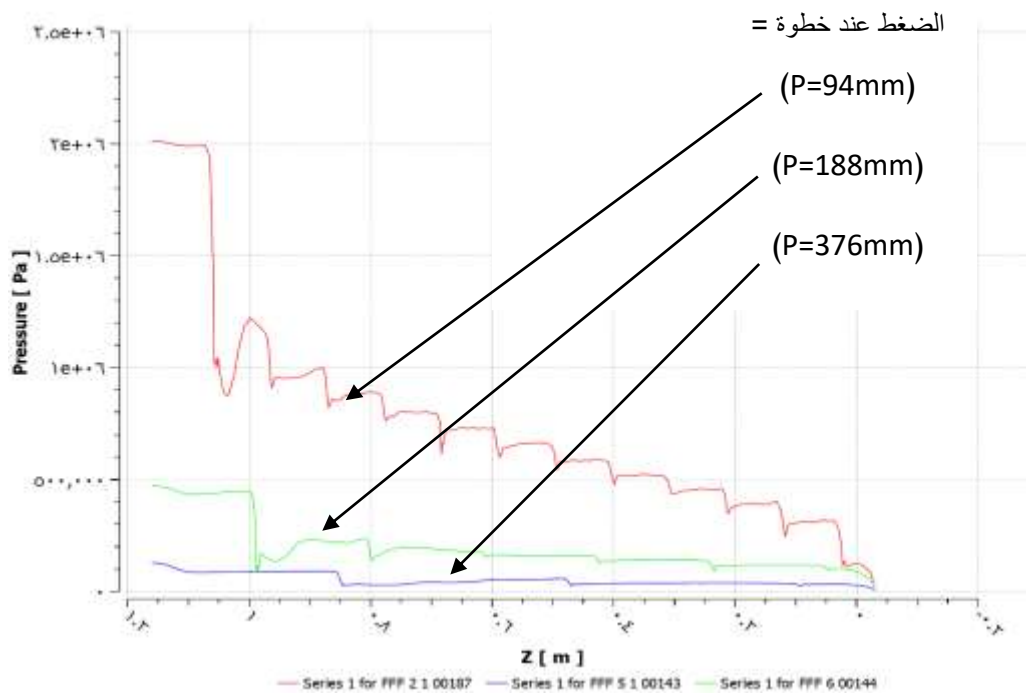
نلاحظ انه مع نقصان قيمة خطوة الحلزون تزداد قيم تدرج الضغط بين الأوعية والامر الذي يؤدي إلى زيادة القوة الفعالة على الحلزون.



الشكل (6) توزيع السرعة عند خطوة عنفة مساوية لنصف القطر الخارجي (P=188mm) و (P=376mm) و (P=94mm)

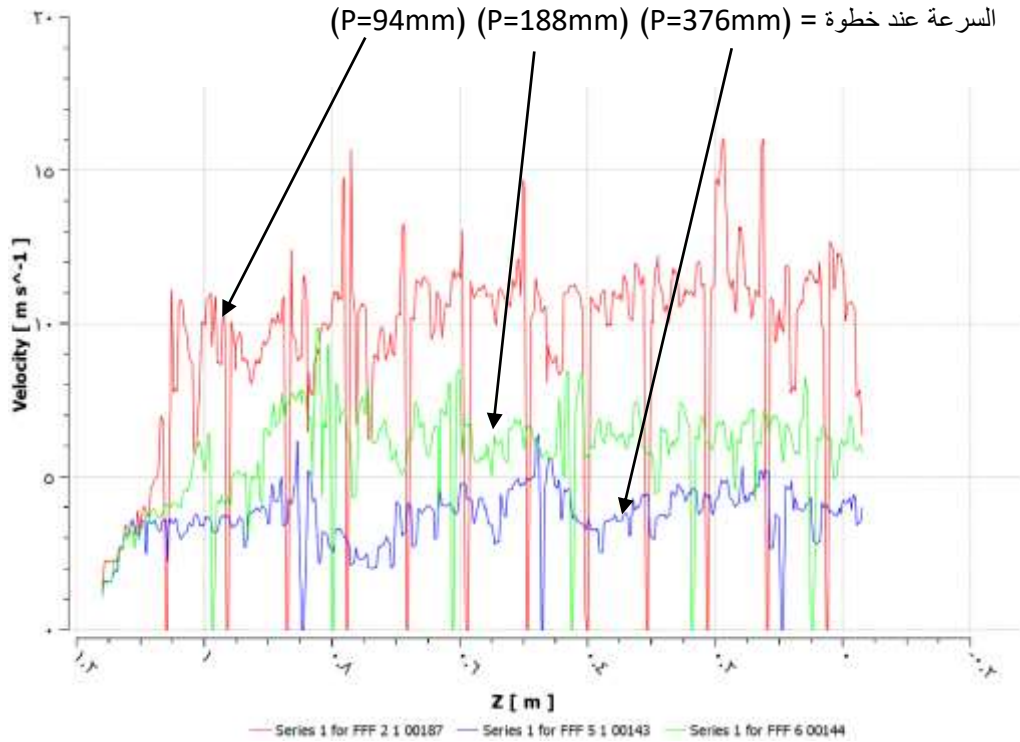
نلاحظ زيادة قيم التدفق مع نقصان قيمة الخطوة وخاصة بالقرب من الفجوة الامر الذي يؤدي لخسارة في التدفق الفعال للحلزون

يبين الشكل (7) والشكل (8) مقارنة ما بين حقول الضغط وحقول السرعة على التوالي لكل من القيم الثلاثة للخطوة



الشكل (7) حقول الضغط للقيم الثلاثة للخطوة

نلاحظ زيادة قيمة الضغط مع نقصان قيمة خطوة الحلزون وأعلى ضغط محقق كان عند قيمة خطوة (94mm) مساوية لنصف القطر الخارجي للعنفة الحلزونية، (Z) هو محور من يوازي المحور الطولي للحلزون معاكس لاتجاه التدفق



الشكل (8) حقول السرعة للقيم الثلاثة للخطوة ونلاحظ زيادة قيم سرعة التدفقات من الفجوة مع انخفاض قيمة الخطوة وهو ما يزيد من خسائر العنف

نلاحظ زيادة قيمة التدفق مع نقصان قيمة خطوة الحلزون حيث عند كل تدرج للضغط بين وعاءين تزداد قيمة التدفق من الفجوة الموافقة لهما، القيم الأقل للسرعة كانت عند التدرج الأدنى للضغط وذلك عند قيمة خطوة (376 mm) مساوية لضغط قيمة القطر الخارجي للعنفة الحلزونية، (Z) هو محور من يوازي المحور الطولي للحلزون معاكس لاتجاه التدفق.

تبين من المحاكاة الحاسوبية أنه مع نقصان قيمة الخطوة يزداد تدرج الضغط عبر الأوعية ولكن مع الزيادة في قيمة تدرج الضغط فإن سرعة الماء خلال الفجوة تزداد بشكل كبير وهذا ما يزيد من ضياعات التسرب، فزيادة فرق الضغط بين وعاء والذي يليه في العنفة يزيد التدفق في الفجوة بين الوعاءين حسب نظرية تفريغ الخزان الهيدروليكي المستخدمة لوصف ضياعات التسرب من الفجوة كما هو مذكور في المرجع [13]، بالتالي تتخضع كفاءة العنفة لذلك يجب اختيار قيم تصميمية تعطي قوى ضغط فعالة على الشفرات دون زيادة في خسائر التدفق للعنفة الحلزونية وتصغير قيمة الفجوة قدر المستطاع، بالنسبة لهذا النموذج تبين أن قيمة الخطوة المساوية للقطر الخارجي (188mm) تحقق تدرج ضغط مناسبة مع قيم سرعة متوسطة تخفف من ضياعات التسرب

2.4 اختبار النموذج التجريبي عند تدفقات وزوايا ميل مختلفة

أجريت مجموعة من التجارب على نهر الخوابي في قرية العوينية في ريف مدينة طرطوس، حيث تم قياس كل من التدفق والسرعة الدورانية والتيار والجهد الناتجين على مولد مربوط بالعنفة تم تصنيعه يدوياً بطريقة لتحديد تغير الاستطاعة والكفاءة وتأثير البارامترات عليها، تم تثبيت زاوية الميل عند قيمة معينه و تم تغير قيمة التدفق وقياس كل من السرعة الدورانية والجهد والتيار الناتج و تم تغير زاوية الميل.

- تم اخذ القيم التالية لزاوية الميل (7.7° _ 11.39° _ 15.54° _ 20.9°) بما يحاكي الانحدار في السواقي

المائية من خلال حساب ($\tan^{-1} = \frac{\text{الارتفاع}}{112}$) حيث (112 cm) طول الحزون.

- تم استخدام مقياس (multimeter) لقياس الجهد والتيار بعد تقويم التيار الخارج من المولد وتنعيمه.

- استخدم كاميرا عالية الدقة ووضع علامة على بكرة العنفة القائدة للمولد لحساب السرعة الدورانية من خلال

معرفة عدد الإطارات اللازمة لإتمام دورة واحده وتقسيم معدل الإطارات (frames) في الثانية الواحدة للكاميرا عليها

$$n_{(RPM)} = \frac{30000 \times (\text{ثانية/إطار})}{\text{Frames for one turn (دورة/إطار)}}$$

- تم استخدام وعاء معلوم الوزن عند الامتلاء (12kg) مع مؤقت زمني لحساب التدفق الخارج من العنفة حيث

يتم اخذ القياس ثلاث مرات واخذ المتوسط الحسابي للعملية.

الارتفاع الراسي	زاوية الميل	التدفق المتوسط	استطاعة الدخل	الجهد المتولد	التيار الناتج	السرعة الدورانية	السرعة الدورانية لل	الاستطاعة الكهربية	الكفاءة %
cm	degree	Kg/s	W	volt	mA	RPM	RPM	W	
15	7.69	6.037	8.88	8	60	390	0.48	5.40	
22	11.33	7.967	17.19	8.5	120	555.75	1.02	5.93	
30	15.53	5.105	15.026	8.75	110	578.5	0.9625	6.405	
40	20.92	9.545	28.092	9.2	150	747.5	1.38	4.912	
		9.415	36.945	9.5	170	845	1.615	4.37	
		6.015	23.603	8.75	130	591.5	1.1375	4.82	

3.4. أداء العنفة الحلزونية

يظهر الشكلين (9) و(10)، علاقة كل من الاستطاعة الناتجة والكفاءة مع التدفق لزوايا ميل مختلفة على التوالي.



الشكل (9) الاستطاعة الكهربائية الناتجة عن المولد مع التدفق بالنسبة لزوايا ميل مختلفة

أظهرت النتائج أن الاستطاعة للعنفة الحلزونية تزداد بازدياد التيار المتدفق والانحدار وكانت أعلى قيمة للاستطاعة الكهربائية الناتجة عن المولد (1.615W)، فمن أجل تدفق ثابت فرضاً (6 kg/s) تزداد الاستطاعة بنسبة (123%) مع زيادة الميل بمقدار (13.2°)، كذلك من أجل انحدار ثابت فرضاً (20.9°) كان نسبة الزيادة في الاستطاعة (41.9%) عند زيادة التدفق بمقدار (3.4 kg/s).



الشكل (10) الكفاءة للنموذج التجريبي متضمناً المولد مع التدفق بالنسبة لزوايا ميل مختلفة

أظهرت النتائج أن الكفاءة تنخفض بزيادة الانحدار والتدفق حيث من أجل تدفق ثابت فرضاً (6 kg/s) تنخفض الكفاءة بنسبة (16%) مع زيادة الميل بمقدار (13.2°)، لكن تغير نسبة الانخفاض في الكفاءة مع تغير التدفق يكون حسب قيمة الانحدار فعند الانحدار المنخفض تتأثر الكفاءة بزيادة التدفق بسبب زيادة التسريبي نتيجة زخم الماء وعند الانحدار الأعلى يقل تأثير الكفاءة بالتدفق ويصبح التأثير متعلق بفرق الضغط بين الأوعية. أعلى كفاءة ناتجة كانت عند زاوية ميل قليلة بقيمة (9.218%) وذلك لتحقيقها أعلى استفادة من التدفق الداخل وانخفاض ضياعات التسريب.

يرجع انخفاض الكفاءة الإجمالي إلى المولد المصنوع يدوياً حيث تم غمس الدائر بمادة الإيبوكسي وكانت الفجوة الهوائية (2mm)، إضافة لعدم توافق السرعات ما بين المولد والعنفة مما أدى إلى كفاءة منخفضة في تحويل الطاقة الميكانيكية، ضياعات الاحتكاك في السير الناقل والبكرات، الفجوة ما بين العنفة والمجرى إضافة لبعض القيود التصنيعية.

5. الاستنتاجات والتوصيات

1.1.5. الاستنتاجات:

- هذا البحث يسلط الضوء على العديد من النقاط، يمكن تلخيص أهمها بما يلي:
- أثرت زاوية الميل بشكل كبير على كفاءة العنفة الحلزونية حيث حققت الزاوية 7.7° أعلى كفاءة في هذه الدراسة بسبب تقليل ضياعات التسريب لانخفاض الارتفاع الضاغط مما أدى لأعلى استفادة من التدفق الداخل
- يعتبر التدفق بارومتر مهم للتحكم في كفاءة واستطاعة العنفة، فمن أجل زاوية الميل 7.7° أدى تغير التدفق إلى تغير الكفاءة بنسبة 38% والاستطاعة بقيمة 37.8% في حين من أجل زاوية الميل 20.9° كان تغير الكفاءة صغيراً بقيمة 10% على الرغم من زيادة الاستطاعة بقيمة 28% بسبب زيادة ضياعات التسريب
- عند زيادة الضغط والتدفق وزاوية الميل نلاحظ ازدياد حصول التسرب الذي يؤدي لتقليل الكفاءة، لذلك يجب إعطاء الفجوة أهمية بالغة (ينبغي تصغير الفجوة قدر الإمكان ولكن ذلك يحتاج لزيادة الدقة في التصنيع الأمر الذي يؤدي لزيادة كبيرة في التكلفة)

2.5. التوصيات:

- يوصى باختيار مولد ذات عدد اقطاب كبير يناسب السرعة المنخفضة والعزم العالي للعنفة واجراء دراسات حول موضوع الموازنة بين العنفة والمولد
- تصغير الفجوة الهوائية قدر الإمكان وخاصة عند حالات التركيب بزوايا ميل كبيرة
- دراسة الموقع المراد تركيب العنفة فيه ومعرفة التغيرات في التدفق خلال فترة استخدامها

6. المراجع

- [1] Bp, B. P. "Statistical review of world energy 2022." (2023).
- [2] Kozyn, A. Power Loss Model for Archimedes Screw Turbines. Master's Thesis, University of Guelph, Guelph, ON, Canada, 2016.
- [3] Werner, H.; Alois, L.; Bernhard, P. Lab Testing of the Archimedean Screw. In Proceedings of the Hydroenergia Conference, Wroclaw, Poland, 23–26 May 2012.
- [4] Tushar, K. Ghosh, Mark A. Prelas. 2011. Energy Resources and Systems, Renewable Resources., Springer Netherlands. 2: 3.
- [5] Southeast Power Engineering Ltd Website: <http://sepengineering.com/>, Accessed on NOV 4, 2013).
- [6] Williamson, S. J., Stark, B. H., Booker, J. D. 2012. Experimental Optimisation of a Low-head Pico Hydro Turgo Turbine . 3rd IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies, ICSET, 322–327.
- [7] Kazem Shahverdi, Reyhaneh Loni, J.M. Maestre, Gholamhassan Najafi, CFD numerical simulation of Archimedes screw turbine with power output analysis, Ocean Engineering, Volume 231, 2021, 108718, ISSN 0029-8018,
- [8] K. Shahverdi, R. Loni, B. Ghobadian, S. Gohari, S. Marofi, Evangelos Bellos, Numerical Optimization Study of Archimedes Screw Turbine (AST): A case study, Renewable Energy, Volume 145, 2020, Pages 2130-2143, ISSN 0960-1481,
- [9] Alonso-Martinez, Mar, José Luis Suárez Sierra, Juan José del Coz Díaz, and Juan Enrique Martinez-Martinez. 2020. "A New Methodology to Design Sustainable Archimedean Screw Turbines as Green Energy Generators" International Journal of Environmental Research and Public Health 17, no. 24: 9236.
- [10] Guilhem Dellinger, Scott Simmons, William David Lubitz, Pierre-André Garambois, Nicolas Dellinger, Effect of slope and number of blades on Archimedes screw generator power output, Renewable Energy, Volume 136, 2019, Pages 896-908, ISSN 0960-1481,
- [11] "Investigation of Physical and Numerical Model of Archimedes Screw Turbine" written by Omar Sulaiman Abdullah, Wissam Hashim Khalil, Ammar Hatem Kamel, Amir J. Shareef, published by Journal of Power and Energy Engineering, Vol.8 No.10, 2020
- [12] Rorres, Chris. "The turn of the screw: Optimal design of an Archimedes screw." *Journal of hydraulic engineering* 126, no. 1 (2000): 72-80.
- [13] Guilhem Dellinger, Abdelali Terfous, Pierre-André Garambois, Abdallah Ghenaim. Experimental investigation and performance analysis of Archimedes screw generator. *Journal of Hydraulic Research*, 2016, 54 (2), pp.197-209.