تأثير وضعية النهاية الحرة على الأداء الايروديناميكي للأسطوانات الدوارة

عامر المجايدي [1,*]، آزمين موحد رافي [2]، عمر المرزوكي [2]

1- المعهد العالي للتقنيات الهندسية طرابلس – إدارة المعاهد التقنية العليا – وزارة التعليم التقني و الفني . ليبيا

2- قسم الطيران و الفضاء . كلية الهندسة – حامعة بوترا الماليزية . ماليزيا

بريد إلكتروني: mgaidi67@yahoo.com

الملخص

تتميز الإسطوانات الدوارة عن غيرها من الأجسام بمقدار قوة الرفع المتولد عليها عند ظروف إنسياب معينة. في حين أن معامل قوة الرفع يتأثر تأثرًا شديدًا بنسبة السرعة الطرفية للاسطوانة التي بدورها تتناسب تناسبًا طرديًا مع سرعة دوران الإسطوانة. وضعية النهاية الحرة للاسطوانات الدوارة يتوقع أن تكون سببًا لتخفيض مقدار السرعة المذكورة إلى معدل دوران فعلي كنتيجة لانحراف الدوران حول المحور إلى حركة مغزلية. تختص هذه الدراسة بالتحقق من إنحراف دوران إسطوانة حرة النهاية حول محور تماثلها والكشف عن تداعيات ذلك الإنحراف وتأثيره على الأداء العام للاسطوانة. تم تنفيد مجموعة من الاختبارات العملية على نموذج أسطواني عند وضعيتين مختلفتين, كانت أحدهما وضعية النهاية الحرة بينما جسدت وضعية النهايتين المثبتين الوضعية الأخرى. أظهرت نتائج المشاهدة العينية بوضوح إنحراف حركة الدوران المحورية عند وضعية النهاية الحرة، وأن درجة الإنحراف كانت متنامية بشدة مع زيادة معدل طاقة التشغيل المستخدمة لتوليد الحركة الدورانية للنموذج الإسطواني. برهنت النتائج المتحصل عليها على أن الإنحراف المذكور كان قد تسبب في إختلاف واضح بين الحالتين من حيث معدل الدوران الفعلي للنموذج التجريبي، حيث انخفضت سرعة الدوران الفعلية في وضعية النهاية الحرة بما يصل إلى 5 أضعاف مقارنة بالوضعية الأخرى عند أقصى معدل تشغيل. علاوةً

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

على ذلك، يشير الاختلاف المذكور إلى إستنزاف في معدل طاقة الإستخدام، بما ينعكس سلبيًا على أداء الإسطوانة و ُخفض قوة الرفع المتولدة من خلال تخفيض نسبة السرعة الطرفية بفعل انخفاض سرعة الدوران الفعلية للإسطوانة.

الكلمات الدالة: النهاية الحرة للإسطوانات الدوارة – قوة الرفع. – نسبة السرعة الطرفية

The Effect of Free end status on Aerodynamic Performance of Rotating Cylinders

A. M. Magaidi[1,*], A. S. Mohd Rafie[2] , O. F. Marzuki[2]

1- Mechanical Department, High Institute of Engineering Techniques–Tripoli HITT, Tripoli, Libya
2- Aerospace Department, Faculty of Engineering, University Putra of Malaysia UPM Serdang, Selangor, Malaysia.
E-Mail: mgaidi67@yahoo.com

Abstract:

Rotating cylinders are distinguished from other bodies with the amount of their generated lift force at certain flow conditions. While its Lift force coefficient is highly affected by speed ratio that has been directly proportional to rotating speed of a cylinder. Its expected that free end status will reduce the design rotation rate to an actual rotation rate as a result of the deviation of the axial rotational into a spinning motion. This study is concerned with verifying the deviation of a free-end cylinder rotation about its symmetrical axis, and the detection of the consequences of that deviation and also its impact on the performance. A set of experimental tests was implemented on a cylindrical model at two different statuses, one of which is the free-end status while the supported-ends embodies the other status. The observed results clearly showed that there is a deviation in the axial rotational motion at free-end case, where the degree of deviation was strongly growing with the increase of operating power which uses to rotate the cylindrical model. Obtained results demonstrated to

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

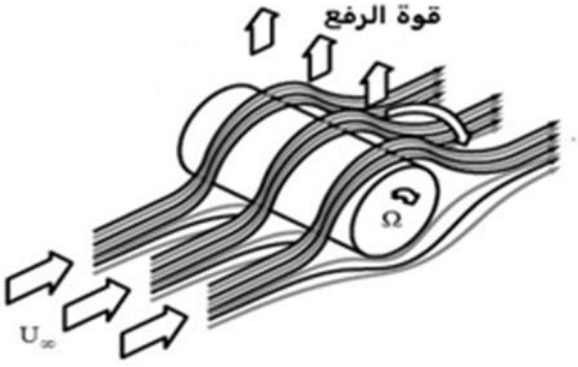
that the deviation had caused a obvious divergence between two statuses in terms of actual rotating rate of tested model, where the actual rotational speed of free end status decreased by up to 5 times at maximum operating rate compared to the other status. Furthermore, the mentioned diverge indicates to a depletion in consumed power which negatively affects the cylinder performance and then reduces the generated lift force through a decrease in speed ratio due to decrease in actual rotational speed of the cylinder.

Keywords: Free end status, Lift force and Tip speed ratio.

مقدمة

غمر جسم ما في مائع و حركته خلاله أو حركة المائع من حوله يتسبب في إختلاف توزيع ضغط المائع على سطوح الجسم بما يؤدي إلى تولد قوى استطاع الإنسان توظيفها في تطبيقات هندسية متنوعة وفق مراحل تطور يستمر إستمرارالحياة. يمثل تعريض الاجسام لإنسياب الهواء جزئية لا يستهان بها من التطبيقات ذات العلاقة وكان قد تم تصنيفها من حيث المجال إلى تخصص الديناميكا الهوائية. تنوع تنفيذ الدراسات و التطبيقات الهندسية في المجال المذكور للتكوينات المختلفة بما سُعي فيه لتحقيق هدف محدد يرتبط بمقدار كلًا من القوة العمودية على سطح الجسم التي تعرف قوة الرفع و قوة أخرى موازية للسطح تعرف قوة الإعاقة أو الكبح. ووفق خصائص الإنسياب و موصفات الشكل العام للجسم ، تعتبر الإسطوانات الدوارة المغمورة في الهواء أحد أهم التطبيقات الهندسية التي يتم فيها تسخير قوة الرفع المتولدة على سطحها الخارجي لأغراض تحقق الهدف المطلوب حسب التصميم المحدد و الذي يقود في تطبيقه إلى إكتشاف هامش قصور في الأداء يوفر مجالًا متسع الأفق للبحث و التطوير. شكل (1) يعرض رسم توضيحي لتولد قوة الرفع على سطح إسطوانة تدور حول محور تماثلها بمعدل دوران قدره Ω لفة في الدقيقة و تتعرض لإنسياب هواء على سطحها بسرعة قدرها U_∞ متر / ثانية.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية



شكل1: إنسياب الهواء حول إسطوانة دوارة و تولد قوة الرفع.

وكان العالمان كوتا و جواكواسكي قد وجها اهتمامهما إلى تحديد التمثيل الرياضي لقوة الرفع المتولدة على سطح إسطواني دوار و مُعرض لإنسياب مائع الهواء من حوله، حيث قاما بتنفيذ دراسات بحثية على نموذج إسطواني وفق اتباع المنهجيتين النظرية التحليلية و التجريبية التطبيقية تواصلا من خلال ذلك إلى أن معدل قوة الرفع المتولد على وحدة الطول يساوي مقدار حاصل الضرب الجبري لكل من سرعة إنسياب الهواء و كثافته و شدة الدوامة [1]. و تم تحديد ذلك في نظرية نُسبت للعالمين " Kutta –Joukowski Theory" التي تلخصت في العلاقة التالية

$$l = \rho U_\infty \Gamma \qquad (1)$$

حيث

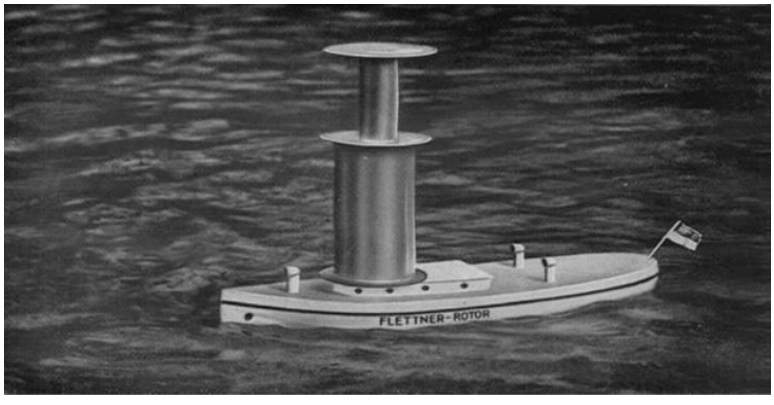
l : قوة الرفع على وحدة الطول ، ρ: كثافة الهواء

U_∞ : سرعة إنسياب الهواء ، Γ : شدة الدوامة

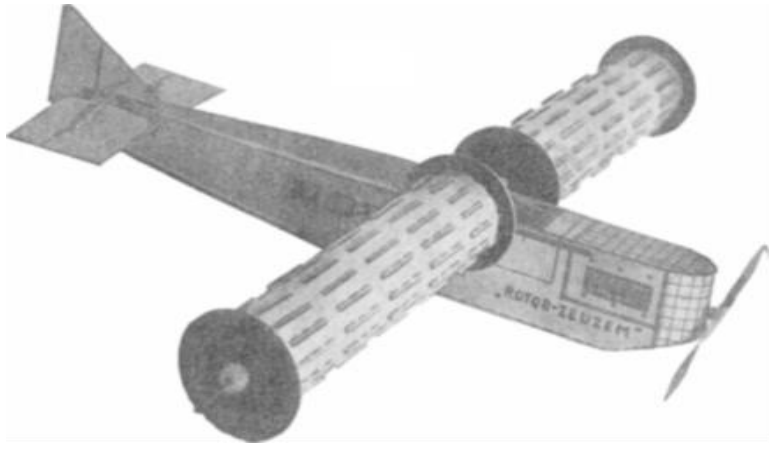
و من خلال البحث المفتوح لما توفر من تقارير و منشورات علمية تختص بالإسطوانات الدوارة، أشارت الدراسات السابقة إلى عديد التطبيقات في المجالات الهندسية المختلفة. الاشكال (2) ، (3) و (4) تعرض عينة مُختارة لبعض التطبيقات لمنظومات هندسية

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

تستخلص الطاقة من التيارات الهوائية التي تنساب على سطحها الدوار والذي يستمد طاقة تشغيله من محرك كهربي فتتولد قوة الرفع المرغوبة لتجسد في بعض امثلتها دور الشراع للقارب البحري و جناحي الرفع لنموذج طائرة زيوزيم في مجال الطيران ، و بديلا عن الريش التقليدية في المراوح و التوربينات الهوائية المستخدمة في استخلاص الطاقة من الرياح.

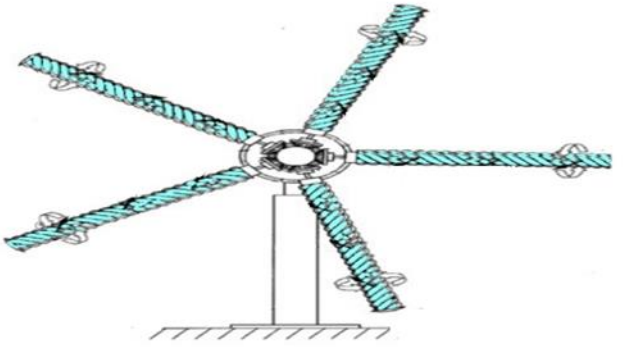


شكل2: نموذج لقارب شراعي يستخدم دوار سافنيوس لقيادة دوار فليتنير. [2]



شكل 3: نموذج زيوزيم الذي اعتمد فيه الأسطوانة الدوارة جناحًا لطائرة. [8]

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية



شكل4: توربين ماغنوس لإستخلاص الطاقة من الرياح.[7]

و في حين أن النهاية الحرة لريش التوربيات الهوائية الأفقية تعد مصدرا للإهتزازات التي تكبح فاعلية أداء التوربين الهوائي وفق ما أشارت إليه بعض الدراسات و التي كان من أبرزها إشارة الباحث عمر المرزوكي إلى حدوث اهتزازات متنامية مع زيادة معدل دوران الريش الإسطوانية لنموذج توربين ماغنوس و الذي كان قد أضطره إلى التوقف عند 1000 لفة / دقيقة لتجنب تداعيات رفرفة الريش و مخاطر تحطم المنظومة، و الذي كان قد حد من الحصول نسب سرعة طرفية أمثل تناظر معاملات قوة رفع أفضل من شأنها توليد عزم دوران أعلى. **[6]**

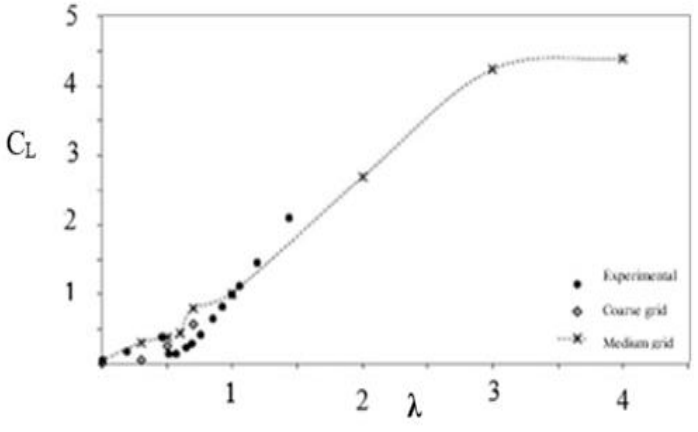
و كان هنالك عديد الدراسات البحثية التي نُفدت على إسطوانات دوارة مغمورة في تيار هواء بمنهجيات مختلفة أشتملت على المنهجية النظرية و المنهجية العملية و الجمع بينهما من خلال دراسات مقارنة تحقق النتائج و تدعمها، و من أهم ما توفر من تلكم الدراسات و الأبحاث الدراسة البحثية التي أعدها الباحث ديموتاكيس عام 1993 [5] ، وأيضًا الباحثان شينق و شيو مع أخرين عام 1994 [4]، كذلك أيضا الباحثان بادالامينتي و برنس عام 2008 [3]. الذين أتفقوا جميعا على تأثر معامل قوة الرفع للإسطوانات الدوارة مقدارًا و نمطًا بنسبة السرعة الطرفية λ و هو ما يصفه الشكل (5) الذي يعرض نتائج تجريبية و تحليل عددي لتغير معامل قوة الرفع مع نسبة

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

السرعة الطرفية لإسطوانة دوارة، و الذي من خلاله يمكن ملاحظة أن حدوث إنخفاض نسبة السرعة الطرفية إلى $\lambda \geq 1$ من شأنه أن يؤدي إلى إنخفاض حاد في قيمة معامل قوة الرفع ، في الوقت الذي يعتبر فيه إنخفاض معدل دوران الإسطوانة **Ω** من أهم المسببات إنخفاض **λ** التي تحسب من ناتج القسمة الجبرية لسرعة دوران الإسطوانة على سرعة الهواء العابر على سطحها أو المغمورة فيه

$$\lambda = \frac{(\Omega * r)}{U\infty} \qquad (2)$$

حيث r: نصف قطر الإسطوانة



شكل5: نمط تغير معامل قوة الرفع مع نسبة السرعة الطرفية لإسطوانة دوارة. [3]

وقوفًا عند النقطة السابقة إنطلقت مادة هذه الورقة العلمية بالبحث في مسببات إنخفاض الأداء الايروديناميكي للإسطوانات الدوارة لتحدد مشكلة البحث، و اتجهت في إهتمامها إلى التحقق من تأثير النهاية الحرة للإسطوانات الدوارة على سرعة الدوران وفق منهجية تجريبية من خلال إجراء تجارب عملية محددة.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

2.منهجية البحث

أختارت منهجية البحث تنفيد تجارب عملية تستهدف قياس معدلات الدوران الفعلية لنموذج إسطوانة دائرية في وضعتين مختلفتين عند نفس قيم معدلات طاقة تشغيل للنموذج التجريبي في الوضعيتين المُشار إليهما و اللتين سيتم توضيح وصفهما لاحقًا .

2.1 نموذج الإسطوانة الدائرية:

كان نموذج الاختبار عبارة عن اسطوانة دائرية من مادة الزجاج طولها 0.35 م و قطرها 0.05 م.

2.2 تجهيزات الأختبار التجريبي:

تم اختيار تنفيذ الإختبارات العملية المستهدفة في حيز محدد بجدران زجاجية بما يتيح ظروف ثابتة من حيث سرعة الهواء في الوسط المحيط إضافة إلى إتاحة مشاهدة بصرية جلية يمكن من خلالها متابعة و رصد ظروف تنفيذ الاختبارات . جسد مقطع الإختبار بالنفق الهوائي بقسم هندسة الطيران و الفضاء بكلية الهندسة بجامعة بوترا الماليزية المكان الأكثر ملائمة للظروف المطلوبة و تحددت أبعاده الهندسية في 2متر طولا ، 1 متر ارتفاعًا و 1 متر عمقًا.

إضافة إلى ذلك، تم توفير المعدات الفنية اللازمة لتنفيذ التجارب على النموذج و التي أشتملت على التالي:

1. قاعدة تثبيت النموذج بالجدار السفلي لمقطع الإختبار بالنفق الهوائي.
2. دعامة ثبيت النموذج من النهاية العليا للنموذج " على إعتبار الوضعية الرأسية وضعية مُختارة لتثبيت و أختبار النموذج ".
3. محرك كهربائي ولوحة تحكم واسلاك كهربائية لتوصيل الجهد الكهربي.
4. جهاز تاكوميتر لقياس سرعة الدوران.

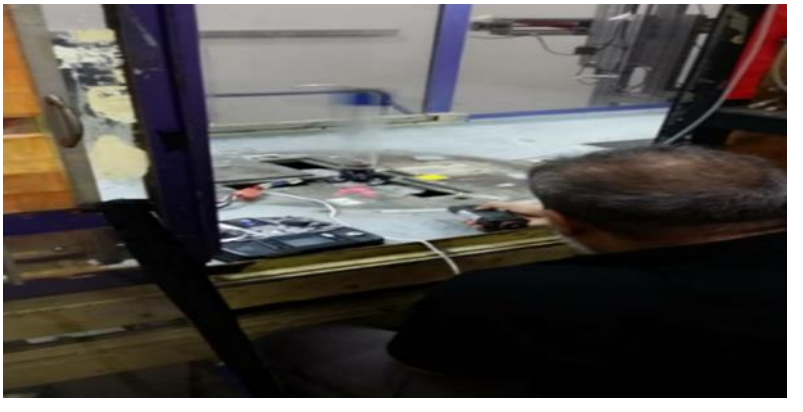
Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

شكل6: جهاز التاكوميتر المستخدم لقياس معدل الدوران.

وقد تم تنسيق تنفيذ الاختبارات العملية وأختيار الوضع الرأسي لتثبيت النموذج الإسطواني وفق الوضعيتين التاليتين:

أ. الوضعية الأولى

وتحددت في تثبيت القاعدة السفلية للنموذج بالجدار السفلي لحيز الإختبار و ترك النهاية الأخرى حرة. شكل(7) يعرض وضعية النهاية الحرة لإختبار النموذج الإسطواني.

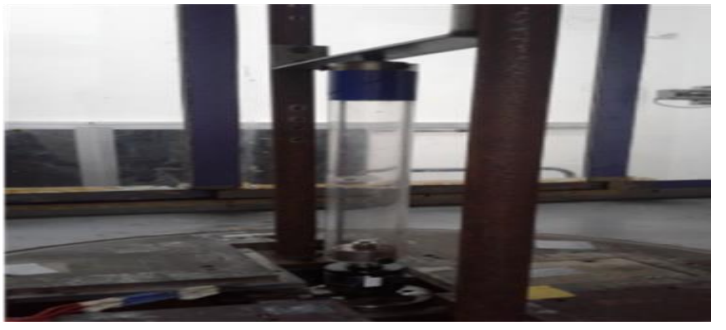


شكل7: وضعية النهاية الحرة لإختبار النموذج الإسطواني.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

ب. الوضعية الثانية

و تحددت في إضافة ربط النهاية الحرة في الوضعية السابقة بدعامة تثبيت لمنع انحراف محور دوران النموذج عن المحور الرأسي . شكل (8) يعرض وضعية إختبار النموذج الإسطواني عند تثبيت نهايتيه.



شكل8: وضعية إختبار النموذج الإسطواني عند تثبيت نهايتيه.

3.2 تنفيذ التجارب

كان اختيار تنفيذ تجارب الوضعية الأولى أولًا حيث تم تثبيت نموذج الإختبار في الوضع الرأسي كما سبقت الإشارة بما يسمح له بحركة دورانية واحدة حول محور تماثله كما هو مبين أعلاه في الشكل (7). وقد تم توصيل نموذج الاختبار بمحرك كهربائي عبر أسلاك توصيل، ليتحصل على الطاقة المؤدية إلى حركته الدورانية المطلوبة من خلال لوحة التحكم في مقدار طاقة التشغيل عبر تغير قيمة التيار الكهربي المُغذي للنموذج. ابتدأت القيمة الإبتدائية لدوران النموذج بتيار كهربي قدره **I = 0.1 أمبير** و تم قياس و رصد معدل دوران النموذج عندها باستخدام جهاز التاكوميتر. و من ثم تمت زيادة قيمة شدة التيار بمقدار إختياري ثابت قدره **ΔI = 0.1 أمبير** و قياس و تسجيل معدل الدوران المتوفر. وتتابع تكرار زيادة القيمة الثابتة لشدة التيار وتحديد معدل الدوران المناظر. و كان توقف زيادة مقدار شدة التيار عند القيمة **I = 1.1 أمبير** نتيجة تنامي الإهتزازات التي ظهرت على النموذج بما قد يؤدي إلى إنهيار تكوين الإختبار و ما يترتب عليه من مخاطر .

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

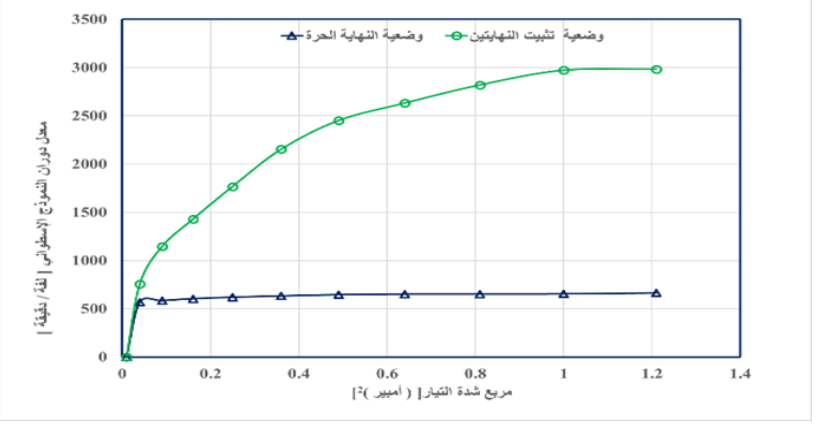
بعد ذلك، كان الإنتقال إلى إجراء تجارب الوضعية الثانية بعد إضافة ربط النهاية الحرة للإسطوانة بدعامة تثبيت تسمح بنفس الحركة في الوضعية الأولى دون السماح بنشأة حركة جانبية كانت توفرها ظروف النهاية الحرة . وقد تم تنفيذ إختبار النموذج في وضعيته الجديدة وفق إتباع نفس الخطوات السابقة إلى أن وصلت شدة التيار إلى القيمة **I = 1.1 أمبير** التي تم التوقف عندها في اختبارات الوضعية الأولى.
ومن ثم تجميع تدوين القراءات المختلفة لكل من شدة التيار ومعدل الدوران المناظر.

1. النتائج والمناقشة

من خلال النتائج المدونة للإختبارات المنفذة على النموذج الإسطواني الدوار وفق الوضعيتين المحددتين أمكن تلخيص ذلك في الشكل (9) الذي يعرض تغير معدل دوران نموذج الإختبار بتغيير مقدار مربع شدة التيار الذي يتناسب طرديًا مع معدل طاقة التشغيل أو مقدار القدرة الكهربائية.

$$P = I^2R \qquad (3)$$

حيث : P= القدرة الكهربائية أو معدل طاقة التشغيل مقاسة بالوات ،
R = المقاومة الكهربائية مقاسة بالأوم.



شكل 9: تغير معدلات دوران نموذج إسطواني مع تغيير مربع شدة التيار.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

من الشكل (9) يمكن ملاحظة تقارب نتائج الوضعيتين في البداية بأفضلية توليد معدل دوران عند الوضعية الثانية عن الوضعية الأولى، حيث نتج عن تغذية النموذج بتيار كهربائي قدره **I = 0.1 أمبير** توليد معدل دوران **Ω** قدره **754 لفة / دقيقة** عند الوضعية الثانية ، في حين كان قد نتج عن تغذية النموذج بتيار كهربائي قدره **0.1 أمبير** توليد معدل دوران يصل إلى **566لفه/دقيقة** عند الوضعية الأولى. إلا أن مع الإنتقال إلى توليد معدلات دوران أعلى من خلال زيادة القدرة الكهربائية المستخدمة بزيادة التيار الكهربي كان تنامي الإختلاف في نمط زيادة معدلات الدوران بين الوضعتين بتفوق ملحوظ وصل إلى ما يقارب 5 أضعاف القيمة المُدركة . حيث نتج عن تغذية النموذج بتيار كهربائي قدره **I = 1.1 A** توليد معدل دوران قدره 2980 لفه/دقيقة عند الوضعية الثانية ، في حين سجلت قراءة جهاز التاكوميتر معدل الدوران 660 لفه/دقيقة في الوضعية الأولى عند نفس مقدار قيمة التيار الكهربي .

من جانب أخر و من خلال الشكل (9) أيضا، فإن التباين المتنامي بشدة ملحوظة للإختلاف في معدل دوران مع زيادة القدرة التشغيلية عند الوضعيتين المحددتين ينبه إلى وجود إستنزاف في معدل طاقة التشغيل عند الوضعية الأولى يُهدر في صورة حركة مغزلية تتحركها إسطوانة النهاية الحرة تشبه حركة الجرس، و قد تمت ملاحظة ذلك بالمشاهدة العينية المباشرة للاختبار والتي يعرضها الشكل (7) بصورة واضحة جلية من خلال التركيز على النهاية الحرة للاسطوانة.

2. الخلاصة

رغم اتساع انتشار التطبيقات الهندسية للأسطوانات الدوارة المغمورة في الهواء لما اتسمت به من خصائص ايروديناميكية في نطاق محدد ميزتها عن غيرها من الأجسام، إلا أن وضعية النهاية الحرة لها شكلت مصدرًا لإنخفاض معامل أدائها من خلال مقدار الفقد في معدل طاقة التشغيل الذي برهنته نتائج الاختبارات التجريبية المنفذة في هذه الدراسة على نموذج إسطواني دوار يستمد حركته من محرك كهربائي عند وضعية النهاية الحرة و وضعية تثبيت النهايتين. أظهرت المشاهدة العينية للتجربة تشوهًا

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

للحركة المحورية المرغوبة للنموذج التجريبي عند وضعية النهاية الحرة إلى حركة مغزلية تأخذ شكل الجرس بما يشير إلى عملية استنزاف في معدل طاقة التشغيل يؤدي إلى تخفيض معدلات الأداء للنموذج، و قد سجلت النتائج تفاوتًا متناميًا مع زيادة معدلات طاقة التشغيل ، و كان تحقيق أعلى مقدار تفاوت عند شدة تيار ثابتة قدرها 1.1 أمبير أدى إلى توليد معدل سرعة دوران بلغ 2980 لفة /دقيقة عند وضعية النهايتين المثبتين بينما كان هنالك تسجيل معدل السرعة إلى 660 لفة / دقيقة عند وضعية النهاية الحرة. إن من شأن وضعية النهاية الحرة التأثير على مقدار قوة الرفع المتولدة من خلال تخفيض نسبة السرعة الطرفية بفعل انخفاض سرعة الدوران الفعلية للإسطوانة، و بالتالي فإن تحقيق أي زيادة في قيمة نسبة السرعة الطرفية تتطلب زيادة مناظرة في طاقة الإستخدام أو معدلات التشغيل والذي سيكون محدودًا لتجنب مخاطر الإهتزازات الناشئة إلى جانب إنخفاض معامل الأداء مع زيادة مقدار طاقة الاستخدام.

3. المراجع

[1] And, E. L. H., & Carpenter, P. W. (2003). Aerodynamics for Engineering Students, 133–136.

[2] Axis, H., & Turbines, W. (2014). Wind energy converters concepts ©, 30.

[3] Badalamenti, C., & Prince, S. A. (2008). Vortex Shedding From A Rotating Circular Cylinder At Moderate Sub-Critical Reynolds Numbers And High Velocity Ratio.

[4] Cheng, M., Chew, Y. T., & L, S. C. (1994). Discrete vortex simulation of the separated flow around a rotating circular cylinder at high Reynolds number, *18*, 225–236.

[5] DIMOTAKIS, P. T. T. A. P. E. (1993). The lift of a cylinder executing rotary motions in a uniform flow. *Fluid Mech.*, *255*, 1–10.

[6] Marzuki, O. F. bin. (2017). *Effect of Surface Roughness on Rotating Cylinder and Magnus Wind Turbine in Low Speed Conditions*.

[7] Sedaghat, A. (2014). Prospectus and challenges in design and

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

modelling. *Renewable Energy*, *62*, 619–628. https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.08.029

[8] Seifert, J. (2012). Progress in Aerospace Sciences A review of the Magnus effect in aeronautics. *Progress in Aerospace Sciences*, *55*, 17–45. https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2012.07.001

Authors' information

Amer M. Magaidi, is Associate Professor at Mechanics Department, High Institute of Engineering Techniques–Tripoli. He obtained his PhD in Aerospace Engineering from University Putra Malaysia in 2019. He holds M. Eng (Aeronautical) from Kazan State University in Russia and B. Eng. (Aeronautical) from Tripoli University in Libya. He is currently the Chairman of the Scientific Committee of Mechanics department. His research interests are Wind energy, Aerodynamics, Experimental Tests and Computational Fluid Dynamics

A. S. Mohd Rafie, is Associate Professor at Department of Aerospace Engineering, University Putra Malaysia, Malaysia. He obtained his PhD in Aerospace Engineering from University Putra Malaysia, Malaysia in 2007. He holds M. Eng (Mechanical), B. Eng. (Aeronautic) and Dip. Mech. Eng. (Aeronautic) from University Technology Malaysia, Malaysia. He is currently the Vice Chairman of Aerospace Society Malaysia. His research interests include aerodynamics, aeroelasticity and green energy.

O. F. Marzuki, has received his PhD degree in Aerospace Engineering from University Putra Malaysia, Malaysia in 2017. He was employed as an enumerator in Department of Aerospace Engineering, UPM. Currently, he is a senior lecturer at Universiti Putra Malaysia (Bintulu Campus). His field of research interests include aerodynamics and sustainable energy.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية