

دراسة تأثير تغير البارامترات الرئيسية لغرفة تبادل الطاقة الأفقية، في نظام تحويل طاقة أمواج بحرية عرضية، على كفاءة النظام تجريبياً.

الدكتور عدنان عمران*

الدكتور سمير كفا**

منذر سليمان***

(تاريخ الإيداع 10 / 6 / 2015. قُبِلَ للنشر في 2 / 8 / 2015)

□ ملخص □

يزداد الاهتمام في العقود الأخيرة على نحو متزايد بالحصول على الطاقة الكهربائية من مصادر صديقة للبيئة، وتعتبر طاقة الأمواج البحرية العرضية إحدى هذه المصادر في البلدان الواقعة على البحار والمحيطات. وجدير بالذكر بأن هذا المصدر في سوريا لم يتم الاهتمام به مقارنة بالطاقات الشمسية والريحية، لذلك يأتي هذا البحث كمساهمة متواضعة في هذا المجال من خلال تطوير نموذج تجريبي لنظام عمود الماء المتذبذب الذي يحول طاقة الأمواج العرضية البحرية إلى طاقة كهربائية وتنفيذه، ومن ثم إجراء مجموعة تجارب بطريقة الخطأ والصواب لدراسة تأثير بعض متغيرات النظام التكنولوجية على مردوده، وبالتالي على عدد دورات عنفة ويلز العاملة فيه، حيث تمثل النتائج على شكل منحنيات واضحة القيمة، ليتم التوصل من خلالها إلى توصيات ومقترحات مناسبة حول إمكانية استخدام هذه التكنولوجيا في سوريا من جهة، و إمكانية تطويرها في المستقبل من جهة أخرى.

الكلمات المفتاحية: طاقة الأمواج البحرية ، طاقة كهربائية ، عمود الماء المتذبذب ، عنفة ويلز .

* أستاذ- كلية الهندسة التقنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

** أستاذ- كلية الهندسة التقنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

*** طالب دكتوراه- كلية الهندسة التقنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

The impact of The variations in the main Parameters of The Horizontal Energy Exchange Chamber in a Sea Wave Energy Conversion System, on its Efficiency. An Experimental Study

Dr. Adnan Omran^{*}
Dr. Samer Kafa^{**}
Monzar Solemn^{***}

(Received 10 / 6 / 2015. Accepted 2 / 8 / 2015)

□ ABSTRACT □

The recent few decades have witnessed growing interest in the environment- friendly energy sources. Sea Wave Energy is considered as one of the energy sources in the countries that are located on the seas and oceans. However, this energy source, gained little interest in Syria compared to sun and wind sources. The aim of this research is to contribute to the body of research in this field, by developing and implementing an experimental model of an oscillating water column system, which converts sea wave energy into electrical energy.

Additionally, the research uses a set of true and false experiments to study the impact of the technological variables of the system on its efficiency, hence on the number of rotation of its Wells turbine. The results were represented graphically, and recommendations and suggestions were provided for the possibility to apply this technology in Syria.

Key words: Sea wave energy, Electric power, Model, Wells Turbine

^{*} Professor - Department of Equipment and Machinery Engineering- Faculty of Technical Engineering - Tishreen University - Lattakia - Syria

^{**}Professor - Department of Equipment and Machinery Engineering- Faculty of Technical Engineering - Tishreen University - Lattakia – Syria

^{***}Postgraduate Student - Department of Equipment and Machinery Engineering- Faculty of Technical Engineering - Tishreen University - Lattakia - Syria

مقدمة :

إن فكرة تحويل طاقة أمواج الماء إلى طاقة مفيدة ليست جديدة فقد بدأت وبشكل بسيط منذ القرن التاسع عشر، أما اليوم فيوجد أكثر من 1000 محول يستخدم هذه الطاقة لتحويلها إلى طاقة أخرى مفيدة كالطاقة الكهربائية، ضخ المياه.... وغيرها، إلا أن كثيراً منها لم يثبت جدواه الاقتصادية ولم يراعي قواعد وقوانين علم الهيدروليك، ولعل من أهم هذه المحولات التي أظهر استثمارها تجارياً جدوى اقتصادية هي تلك العاملة وفقاً لنظام عمود الماء المتذبذب (Oscillating Water Column) / (OWC)، والتي يمكن أن تثبت على الشاطئ (On Shore)، أو بعيدة عنه على شكل طوافة (Off-Shore)، إذ يمتاز هذا النظام ببساطة تصميمه وموثوقيته، وقلة الأجزاء المتحركة فيه إضافة إلى سهولة بناءه وتنصيبه [1].

لقد تعددت المشاريع والأبحاث العلمية حول هذا النوع من المحولات، ومن المشاريع العالمية المنفذة واقعياً: بحث نفذ من قبل مركز أبحاث طاقة الأمواج (Wavec) [2] في البرتغال عام 2010، يشمل دراسة متكاملة لإقامة محطة توليد طاقة كهربائية وفقاً لنظام عمود الماء المتذبذب على الشاطئ الشمالي لجزيرة بيكو في البرتغال وبإستطاعة (0.5 MW). ومشروع لتطوير نظام تحويل طاقة أمواج يعمل بمبدأ (OWC) بتمويل من الاتحاد الأوروبي في مدينة Mutriku بأسبانيا عام 2009 وبإستطاعة (300 KW)، نفذ من قبل شركة (Wavegen) الأسكوتلندية عام 2007 [3].

علاوة على الدراسات المتعددة السابقة فقد تناول كثير من الأبحاث تحليل نتائج اختبارات أداء لأنواع مختلفة من هذه المحولات ونوقشت في مؤتمرات علمية دولية ونشرت في مجلات عالمية نذكر منها على سبيل المثال: بحث أجري على نموذج تطبيقي لمحول طاقة أمواج يعمل وفقاً لنظام (OWC) في معهد Sepuluh Nopember للتكنولوجيا في اندونيسيا يهدف إلى التحقق من الأداء الهيدروليكي للنظام في عام 2005 [4]. والبحث الذي أجري في جامعة Ege بتركيا بعنوان نمذجة التفاعل بين الأمواج المائية ومحول طاقة أمواج يعمل وفقاً لمبدأ (OWC) في عام 2011 [5]. وأيضاً البحث الصادر عن جامعة كورك - أيرلندا عام 2006 الذي يشرح نتائج النمذجة والتحليل لنموذج تطبيقي لمحول طاقة أمواج يعمل وفقاً لنظام عمود الماء المتذبذب بشروط تنصيب بعيداً عن الشاطئ [6]. وأخير التقرير الصادر عن منظمة (INORE) العالمية التي تعنى بشؤون الطاقات المتجددة المعتمد في مؤتمر دافون- أيرلندا في أيار 2010، والذي يبحث في تطوير محول طاقة موجة يعمل وفقاً لمبدأ عمود الماء المتذبذب- منصّب على شواطئ الأطلسي في أيرلندا [7]. إضافة إلى الكثير من هذه المشاريع والأبحاث الأخرى.

وعليه بعد الاطلاع على الدراسات المرجعية - المذكور أهمها أعلاه - تجدر الإشارة إلا أن جميع الأبحاث والمشاريع تتناول دراسة وتحليل هذا النوع من المحولات تبعاً لبارامترات الأمواج بشروط المحيطات، ولا يوجد أبحاث تتعلق بنتائج اختبار أي نوع من هذه المحولات بشروط أمواج البحار شبه المغلقة (البحر الأبيض المتوسط) لذلك فقد تم وضع مخطط بحث بحيث يشمل تصميم وتنفيذ نموذج تطبيقي لتقييم عمل هذا النظام بشروط ومواصفات أمواج الساحل السوري وبعض البارامترات المناخية اللازمة بهدف معرفة إمكانية الاستفادة عملياً من هذه التكنولوجيا في سوريا.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث في المساهمة بدراسة مصادر جديدة من الطاقات البديلة، كطاقة الأمواج البحرية العرضية في الساحل السوري، وذلك من خلال تطوير وتنفيذ نموذج تجريبي لنظام عمود الماء المتذبذب الذي يحول طاقة الأمواج العرضية البحرية إلى طاقة كهربائية، ومن ثم إجراء مجموعة تجارب عليه بطريقة الخطأ والصواب لدراسة تأثير بعض متغيرات النظام التكنولوجية على مردوده، وبالتالي على عدد دورات عنفة ويلز العاملة فيه والتأكد من إمكانية الاستفادة من طاقة الأمواج البحرية في سورية.

طرائق البحث ومواده:

- بداية لتحقيق الهدف المذكور أعلاه، لا بد من دراسة النقاط الرئيسية التالية:
 - إجراء دراسة ميدانية لمعرفة مواصفات الأمواج البحرية في السواحل السورية إضافة إلى بعض البارامترات المناخية اللازمة لإنجاز البحث.
 - تصميم وتنفيذ نموذج تطبيقي لنظام عمود الماء المتذبذب اعتماداً على مواصفات الموجة وعلى نظرية التشابه والتحليل البعدي.
 - إجراء التجارب على النموذج التطبيقي وأخذ القياسات اللازمة لدراسة تأثير تغير حجم غرفة تبادل الطاقة الأفقية (نسبة الماء إلى الهواء) وبعض البارامترات التصميمية الهامة للنظام على مردود عمله.
 - الخروج بمواصفات تعطينا التصميم الأمثل لهكذا نظام بشروط الساحل السوري.
 - دراسة أثر تغيير ارتفاع عنفة النظام عن سطح غرفة تبادل الطاقة الأفقية الأمثل.
1. الدراسة الإحصائية لمواصفات أمواج الساحل السوري:

تم الانطلاق بتصميم النظام اعتماداً على دراسات إحصائية وميدانية تم جمعها لعينة تشمل (52000) قياس، بالتعاون مع هيئة الأرصاد الجوية، وذلك لستة سنوات سابقة (2003 - 1998) [8]، واعتماداً على مقياس بيفورت (Beaufort Scale) تم حساب المتوسط الشهري لطاقة الأمواج البحرية على الساحل السوري (منطقة المنارة بطرطوس) مقدرة ب (J/m^2)، وذلك للسنوات الست السابقة المذكورة فكانت النتائج كما هو مبين في الجدول (1):

الجدول (1) يبين التغيرات الشهرية للطاقة الوسطى للموجة خلال (1998-2003). [8]

year	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Jan	1227	374	2358	208	1328	779
Feb	1003	1380	987	1589	929	2090
Mar	2594	681	681	919	951	1089
Apr	956	869	695	1155	819	594
May	-	171	158	1456	295	1928
Jun	49	388	96	688	277	60
Jul	298	335	28	66	176	233
Aug	84	173	27	375	690	12
Sep	417	543	199	190	166	366
Oct	357	124	441	22	131	676
Nov	484	629	220	415	491	902
Dec	675	842	806	1155	1513	1928

المجال بين J/m^2 (2594 - 12). وانطلاقاً من الجدول السابق، تم حساب قيمة المتوسط الشهري لطاقة الموجة لمتوسط السنوات الستة فكانت النتائج كما يلي:

الجدول (2) بين قيمة طاقة الموجة الشهري للسنوات (1998-2003).

السنة	2003	2002	2001	2000	1999	1998
متوسط طاقة الموجة السنوي	10657	7766	8238	6696	6509	8144
متوسط طاقة الموجة الشهري	888	647.1	686.5	558	542.4	678.6
المتوسط الشهري لسنوات	666.78 [j / m ²]					

من خلال القيمة السابقة للمتوسط الشهري لطاقة الموجة للسنوات الستة، تم حساب متوسط ارتفاع الموجة لهذه السنوات وذلك بالأعتماد على العلاقة التالية التي تحدد طاقة الموجة [9].

$$E_{\text{density}} = \rho_{\text{water}} \cdot g \cdot H^2 / 8 \quad [J/m^2]$$

بتطبيق العلاقة السابقة نحصل على متوسط ارتفاع موجة كلي قدره $H = 0.72 \text{ m}$

كذلك الأمر، بتطبيق تلك العلاقة عند القيمتين الحديتين لمتوسط طاقة الموجة الشهري، فإننا نحصل على

متوسط ارتفاع الموجة الكلي السنوي الموافق لتلك القيمتين، أي $(H_{\text{min}} = 0.1 \text{ m} , H_{\text{max}} = 1.42 \text{ m})$.

II- مبدأ عمل النظام:

من المعروف بأن انتزاع الطاقة من العنفة في هكذا أنظمة ترتبط بثلاثة بارامترات أساسية وهي :

• توفر طاقة موجة كافية.

• منحي القدرة للنظام المقترح.

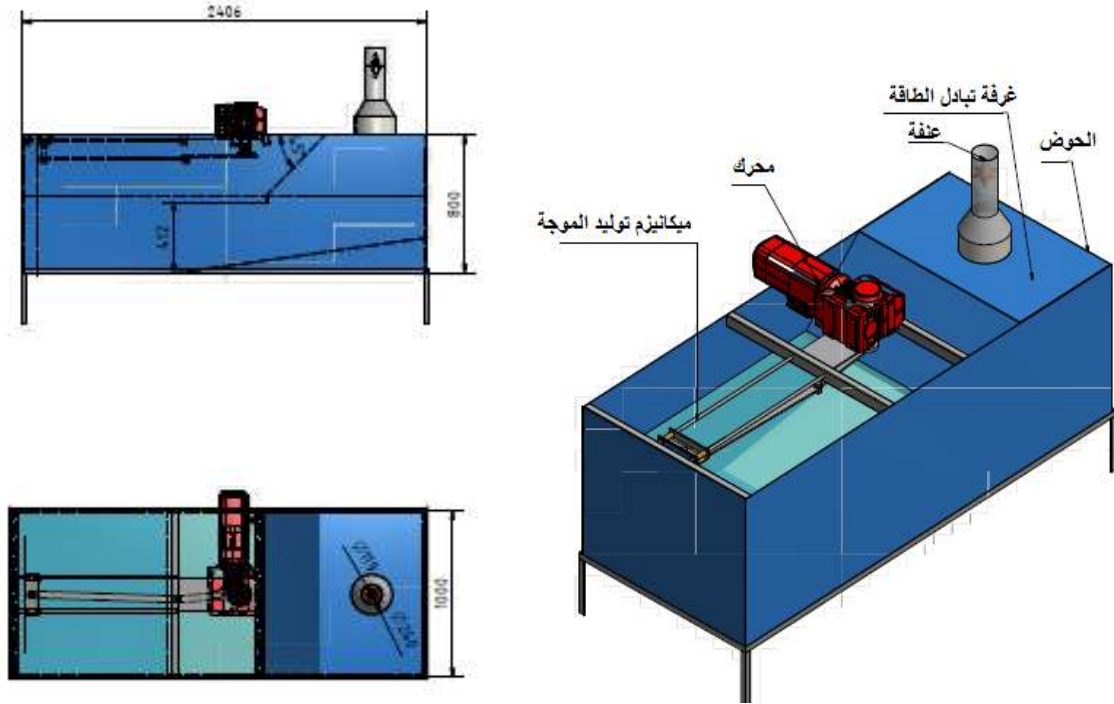
• مقدرة النظام على الاستجابة للتقلبات الريحية وبالتالي الموجية.

جدير بالذكر بأن عنفة النظام المقترح تستمد حركتها من عمود تحويل الطاقة وذلك بفعل دخول ماء الموجة

إلى حجرة الماء فتدور باتجاه عقارب الساعة وعند انحسار الموجة وانخفاض الماء داخل حجرة الماء يتشكل ضغط تخلخل هوائي معاكس يؤدي إلى امتصاص الموجة للهواء الذي يندفع باتجاه العنفة مما يسبب في استمرار دوران العنفة بشكل دائم وينفس الاتجاه، بغض النظر عن جهة تدفق الهواء خلاله (توربين wells)، ومن مولد كهربائي تقوده العنفة يتم إنتاج الطاقة الكهربائية.

يتكون النظام التطبيقي المنفذ (Model) والمبين في (الشكل 2) والمبني بمقياس 1/6 من نموذج حقيقي

(Prototype) تبعاً لنظرية التشابه من العناصر الأساسية التالية:



الشكل (2) يبين : المخطط العام للنموذج التجريبي المنفذ مع أبعاده (Model).

- 1- خزان الماء (الحوض).
- 2- ميكانيزم توليد الموجة الاصطناعية المنمذجة.
- 3- غرفة تبادل الطاقة الأفقية الشكل.
- 4- بوابة الدخول إلى النظام.
- 5- وحدة توليد عنفيه (التوربين الهوائي مع المولد).

III- التحليل البعدي ونمذجة النظام:

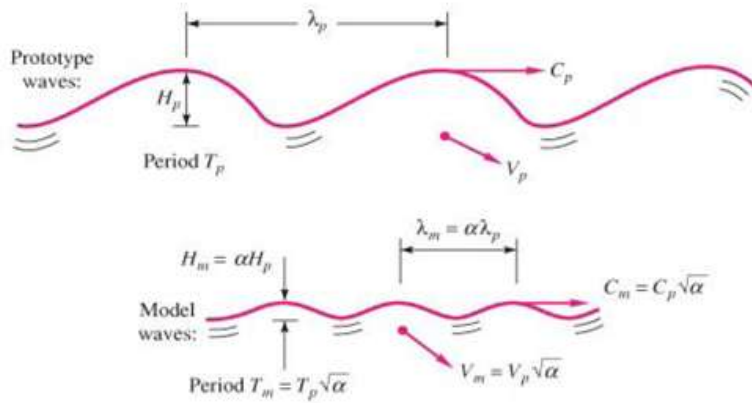
لتصميم ومن ثم تنفيذ نموذج تطبيقي للنظام المدروس (Model) بمقياس (1/6) من نموذج حقيقي (Prototype) لابد من إجراء تحليل بعدي للنظام (Dimensional Analysis) وتطبيق نظرية التشابه (Similarity theory) على مواصفات الموجة الحقيقية من جهة وعلى جميع بارامترات النظام الحقيقي المدروس من جهة أخرى. الانتقال من الأبعاد الحقيقية للنظام (Prototype) إلى أبعاد النموذج التطبيقي (Model) وفق نظرية التشابه.

ملاحظة: يرمز للدلالة على الأبعاد الحقيقية للنظام بالدليل P ولأبعاد النموذج التطبيقي بالدليل m .

- نمذجة الموجة:

انطلاقاً من الدراسة الإحصائية للموجة المذكورة سابقاً، فقد تم في الدراسة التجريبية بالبحث اعتماد متوسط ارتفاع موجة كلي سنوي $H = 0.48 \text{ m}$ بحيث يقع بين القيمتين الحديتين السابقتين (0.1 - 1.42 m) عندها تم معرفة مواصفات الموجة عند مدخل النظام وكانت النتائج كما يأتي:

$\lambda_p = 3$ m	متوسط طول الموجة
$h_p = 0.24$ m	متوسط ارتفاع الموجة العلوي
$\omega_p = 6$ m	متوسط عرض الموجة
$V_p = 2.16$ m/sec	سرعة الموجة عند المدخل



Free surface flows are kinematically similar with length and time scales related by the Froude number.

الشكل (3) يبين بارامترات الموجة قبل وبعد إجراء النمذجة [10].

ثم بالرجوع إلى نظرية التشابه والتحليل البعدي (الشكل 3) يتم نمذجة أبعاد وسرعة الموجة المطلوبة للنموذج التجريبي حيث تصبح مواصفاتها كالآتي:

$\lambda_m = \alpha \cdot \lambda_p = 3.00 / 6 = 0.5$ m	متوسط طول الموجة
$h_m = \alpha \cdot h_p = 0.24 / 6 = 0.04$ m	متوسط ارتفاع الموجة العلوي السنوي
$\omega_p = 1$ m	متوسط عرض الموجة
$V_m = \sqrt{\alpha} \cdot V_p = 0.86$ m/sec	سرعة الموجة عند مدخل النظام

وعليه عندما يتم نمذجة السرعة عند مدخل النظام فإنه وحسب معادلة الاستمرار تكون بقية السرعات داخل النظام محققة لأن التشابه الهندسي قد تم تحقيقه بالنسبة لجميع أبعاد ومقاطع النموذج.

تصميم النموذج التجريبي للنظام مع غرفة تبادل طاقة أفقية:

- أبعاد الحوض وغرفة تبادل الطاقة الأفقية المنمذجة :

تم الانطلاق بالتصميم من مدخلات النظام (سرعة - ارتفاع - عرض الموجة) وتم البحث من خلال التجربة عن الوضع الأمثل تجريبياً لحجم الغرفة ونسبة الماء إلى الهواء.

أبعاد حوض توليد الموجة وغرفة تبادل الطاقة الأفقية بعد نمذجتهم بمقياس 1/6 مبينة في الشكل (2).

-مواصفات العنفة المستخدمة:

تعتبر عنفة ويلز إحدى العنفات الهوائية الأكثر ملائمة لانتزاع الطاقة من تدفق الهواء المتذبذب الناتج عن حركة الأمواج العرضية التذبذبية، بسبب تركيبها البسيطة وانتزاعها للطاقة عند معدلات تدفق هواء ضعيفة ، فهي تدور بنفس الاتجاه بغض النظر عن جهة تدفق الهواء على ريشها.

تم استخدام عنفة من نوع (Wells turbine) تتمتع بالمواصفات التالية:

بروفيل الشفرة من نوع (NACA 0020) المتناسقة الشفرات [10] حسب المنظمة العالمية لعلوم الطيران

(National Advisory committee for Aeronautics). المبينة في الشكل (4) حيث :

116 mm=11.6 cm

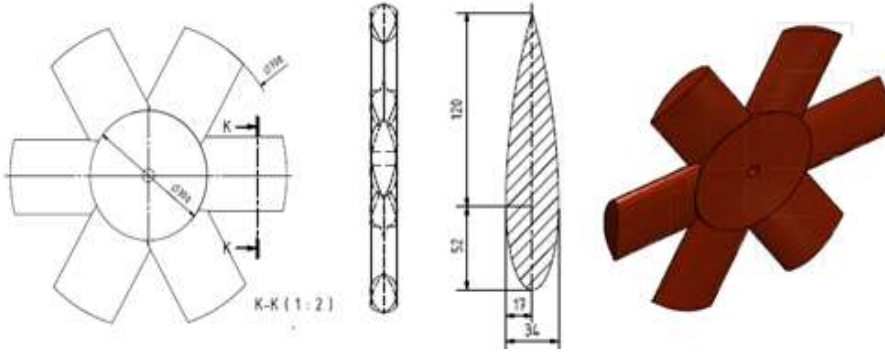
قطر العنفة

Number of blades = 6

عدد الشفرات

$\alpha = 17^\circ$

زاوية دخول الهواء الى العنفة



الشكل (4) يبين أبعاد توربين wells المستخدم في النموذج التجريبي المنفذ [11].

النتائج والمناقشة:

تم مخبرياً دراسة العلاقة بين بارامترات النظام على النموذج التطبيقي المنفذ والموضح في الشكل (2) وأجريت القياسات والتجارب التالية :

1 دراسة تغيير نسبة غمر غرفة تبادل الطاقة بالماء وأثر ذلك على سرعة دوران العنفة وبالتالي على مردود عمل النظام /حالة موقع العنفة مباشرة على سطح غرفة تبادل الطاقة/.

2 دراسة تغيير ارتفاع العنفة المستخدمة عن سطح غرفة تبادل الطاقة وأثر ذلك على سرعة دوران العنفة وبالتالي على مردود النظام.

3 دراسة تغيير قطر فتحة حجرة الهواء / شكل قمع مقلوب رأسه قطر عنفة ويلز وقاعدته ضعف القطر/ المتوضعة بأعلى سطح غرفة تبادل الطاقة بهدف زيادة نسبة الهواء إلى الماء ومعرفة أثر ذلك على مردود عمل النظام.

4 دراسة أثر زيادة ارتفاع العنفة في الحالة السابقة على سرعة دورانها وبالتالي على مردود النظام.

وقد تم ذلك كله تجريبياً على الجهاز المبين سابقاً (الشكل 2) وتم أخذ القراءات بمساعدة الأجهزة التالية:

مقياس Anemometer لقياس سرعة الهواء من نوع (Prova -AVM-03)، مقياس Digital Tachometer

ليزري لقياس سرعة دوران العنفة ومقياس لقياس سرعة الموجة وارتفاعها في القنوات المفتوحة من نوع (Akim
32 – Universal Current Meter). و كلها مبينة في الشكل (5).



ANEMOMETER



DIGITAL TACHOMETER



HYDROMETR

الشكل (5) يبين أجهزة القياس الرئيسية المستخدمة في تجارب البحث.

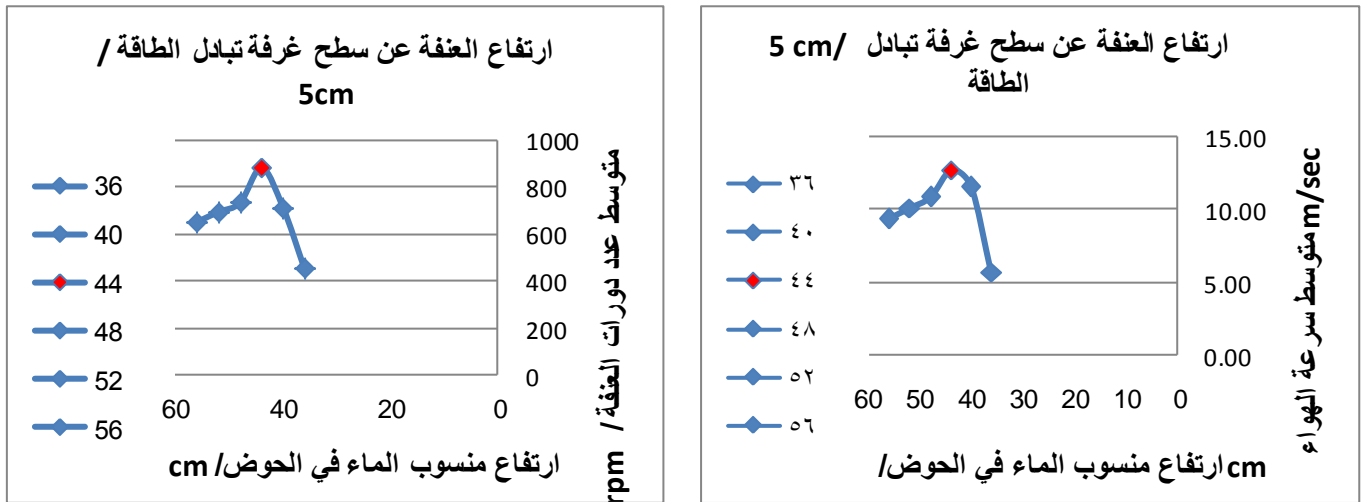
- مراحل العمل المخبري:

أ - دراسة حالة غرفة تحويل طاقة أفقية مع توضع مباشر للعنفة على سطحها /ارتفاع 5 cm فقط
ولاً - وهو سماكة العنفة وفتحة تساوي قطر العنفة/ وذلك عند أبعاد ثابتة لبوابة دخول الموجة إلى النظام وقدرها
100 x 40 cm حيث تم :

1 - تغيير ارتفاع منسوب الماء في الحوض (أي نسبة الماء إلى الهواء في غرفة التحويل
)، وتتبع أثر ذلك على مردود النظام عند الحالات الآتية :

• عند ارتفاع لمنسوب الماء في الحوض قدره 36 cm (أي أخفض من سطح بوابة دخول النظام
بمقدار 4 cm) ، أخذت قياسات سرعة الدوران وسرعة الهواء عند خرج النظام.
• تم تغيير منسوب الماء في الحوض تباعاً بالارتفاعات الآتية : (40 ، 44 ، 48 ، 52 ، 56
سم) وأجريت القياسات السابقة نفسها.

حولت جميع القياسات التي أخذت إلى خطوط بيانية بحيث تظهر تغير منسوب ارتفاع الماء وعلاقته بكل من
سرعة الهواء من جهة وعدد دورات خرج النظام من جهة أخرى وهي مبينة في الشكل (6) :



الشكل (6) يبين نتائج تغير منسوب ارتفاع الماء وأثره على كل من سرعة دوران وعدد دورات خرج النظام.

ومن مناقشة النتائج المدرجة في الشكل (6) يتبين بان أفضل حالة هي عند ارتفاع منسوب ماء في الحوض مقداره 44 cm (أعلى من سطح بوابة دخول النظام بمقدار 4 cm) حيث يظهر عدد دورات عنفة أعظمي وقدره 900 rpm والموافق لمتوسط سرعة هواء قدره 12.76 m/sec.

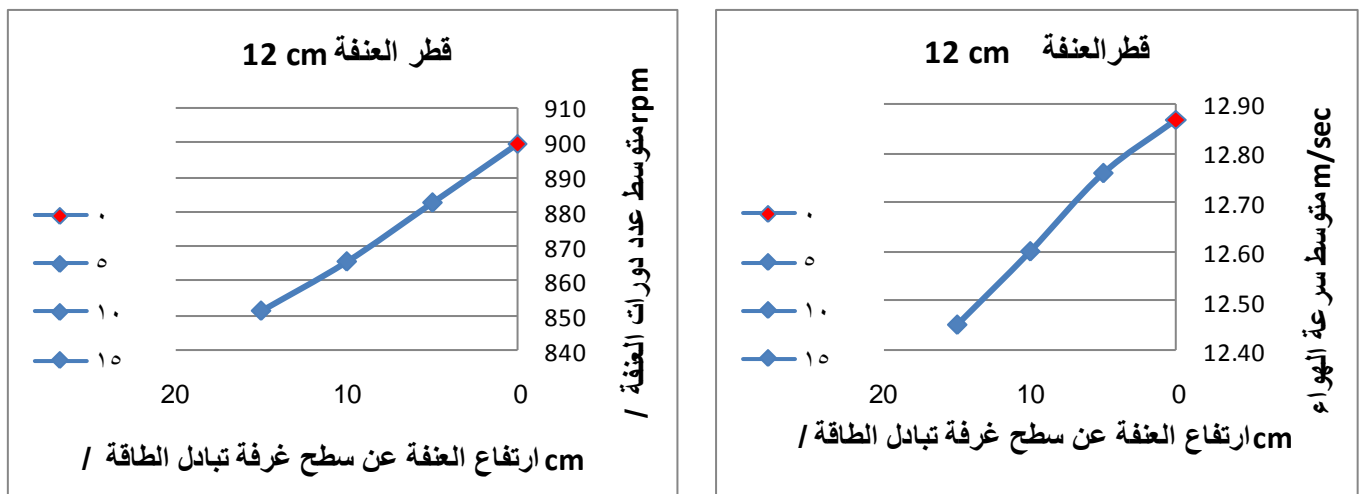
ثانياً - عند أفضل حالة من الحالات السابقة (أي تثبيت ارتفاع منسوب الماء عند 44 cm) تم دراسة :

1 - تغير ارتفاع عنفة النظام عن سطح غرفة تبادل الطاقة وأثر ذلك على مردود النظام (سرعة الدوران) حيث أعيدت الاختبارات وأخذت نفس القياسات السابقة عند ارتفاعات مختلفة مع ثبات في قطر العنفة المستخدمة.

2 - تم دراسة حالة تغير قطر فتحة سطح غرفة تبادل الطاقة عند ارتفاعات مختلفة للعنفة عن هذا السطح وتتبع أثر ذلك على مردود النظام، حيث تم أيضاً تكرار القياسات السابقة نفسها.

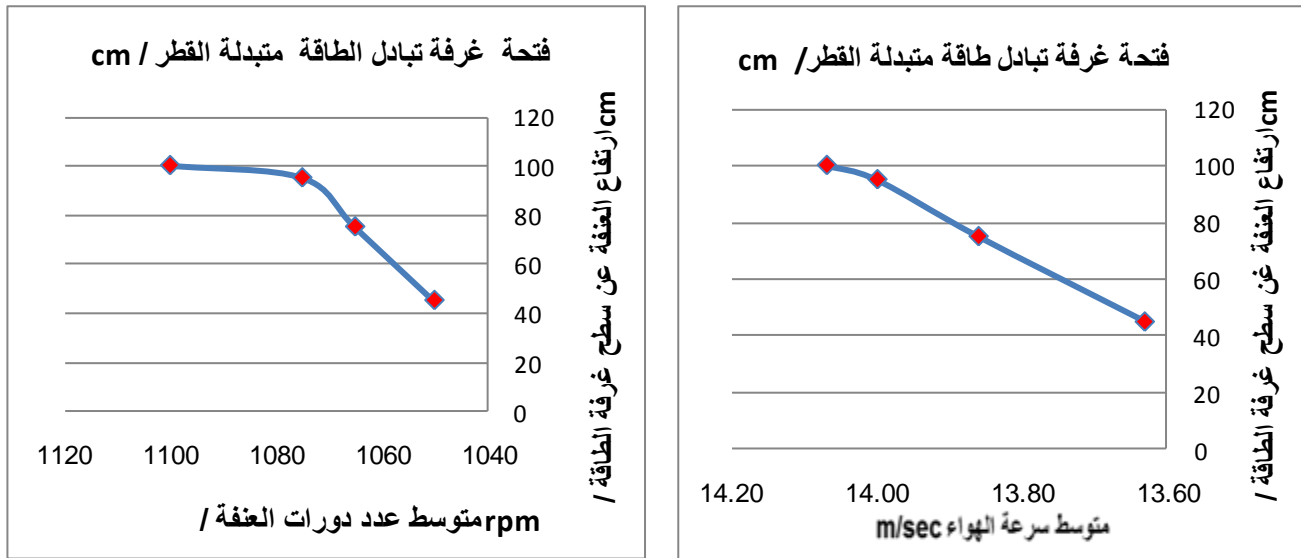
مثلت جميع القياسات التي أخذت لكل الحالات المذكورة أعلاه بيانياً وأدرجت تتابعاً في الأشكال (7-8)

المبينة:



الشكل (7) يبين نتائج تغير ارتفاع العنفة وأثره على خرج النظام عند قطر عنفة ثابت.

يتبين من خلال تحليل النتائج في الشكل (7) بان أفضل وضع للعنفة يقع عند سطح غرفة تبادل الطاقة تماماً كما يظهر الشكل التأثير الضعيف لتغير ارتفاع العنفة عن سطح غرفة التبادل وذلك عند قطر عنفة ثابت.



الشكل (8) يبين نتائج تغير ارتفاع العنفة عند فتحة غرفة تبادل طاقة متغيرة القطر وأثره على خرج النظام.

توضح أيضاً مناقشة وتحليل النتائج في الشكل (8) تغير خرج النظام عند زيادة قطر فتحة سطح غرفة تبادل الطاقة /حالة فوهة متقاربة/، مقارنة مع الحالة الأولى/حالة قطر ثابت/، إلا أن هذا الخرج يتغير بشكل طفيف جداً عند تغير ارتفاع العنفة (حيث تتوضع العنفة عند مخرج الفوهة المتقاربة ونحو الأعلى).

الاستنتاجات والتوصيات :

- الاستنتاجات :

- من مناقشة النتائج السابقة والمبينة في الأشكال (6-7-8) يمكن استنتاج ما يلي:
 - 1 إن تصميم نظام تحويل طاقة الأمواج تطلب دراسة مسبقة ومتكاملة للموقع البحري المطلوب إقامة المشروع فيه وهذه الدراسة طالت مواصفات الموجة بشروط الساحل السوري وركزت على النواحي التالية: سرعة الأمواج ، ارتفاعها ، طولها، عرضها و مدى توفرها السنوي.
 - 2 إن مردود النظام يعتمد على عوامل كثيرة و متعددة الجوانب، ففي النظام العرضي المدروس يعتبر كل من سرعة ، طول ، ارتفاع الموجة ، أبعاد فتحة دخولها وقطر وارتفاع غرفة تبادل الطاقة من العوامل المؤثرة على المردود والتي تم اختبارها وقياسها.
 - 3 تعتبر حالة ارتفاع منسوب الماء فوق أعلى فتحة بوابة الدخول إلى غرفة تبادل الطاقة بمقدار 4 cm والموافقة لظروف وبارامترات الموجة البحرية السورية هي الأفضل من حيث الكفاءة، ويلاحظ أنه بانخفاض منسوب ارتفاع الماء عن الغرفة ينخفض عدد دورات العنفة وكفاءة النظام بشكل كبير.
 - 4 إن تغيير مكان توضع العنفة شاقولياً عن سطح غرفة تبادل الطاقة الأفقية يؤثر بشكل طفيف جداً على مردود النظام وذلك عند قطر عنفة ثابت.

5 إن زيادة قطر فتحة سطح غرفة تبادل الطاقة /حالة القمع المقلوب/ يزيد بشكل ملحوظ من مردود النظام وذلك عند استخدام عنفة لها نفس قطر العنفة المستخدمة في الحالات السابقة .

6 إن نموذج عمود الماء المتذبذب المقترح يملك قيمة كافية لكي يؤدي عمله بكفاءة بشروط الساحل السوري.

7 يتم الانتقال إلى التطبيق العملي لتصميم وتنفيذ هذا النظام بالأبعاد الحقيقية بسهولة ويسر .

- التوصيات:

1 عند التنفيذ يوصى بأن يكون السطح الداخلي لغرفة تبادل الطاقة أملساً كفاية وذلك لتقليل مفاقد طاقة الماء الناتجة عن الاحتكاك عند المرور فيها.

2 -الحصول على استطاعة كهربائية مركبة وقيم استثمارية مفيدة اقتصادياً يوصى بتركيب وبناء مزرعة تتضمن تكرار النموذج المقترح عشر مرات على الأقل بنفس الموقع.

3 إدراج النموذج التطبيقي المنفذ ونتائج البحث ومنهجيته ضمن المناهج التدريسية في الأقسام التي تدرس الطاقات المتجددة بحيث تصبح رافداً لمصادر توليد الطاقات النظيفة .

4 الانفتاح على التجارب العالمية في هذا المجال في الدول المتقدمة والاستفادة من تطبيقاتها.

5 اختبار نفس الأسلوب لدراسة بارامترات أخرى للنظام من أجل تطويره وإيجاد حلول مثلى لمشاكل أخرى مع إضافة قيود جديدة لتقريب أكثر من الواقع الصناعي.

المراجع:

[1] WORLD ENERGY COUNCIL. " Survey of Energy Resources". 22nd. ed., Report of the world energy council, 2010, 563.

[2] BADDOUR, EMILE. "Energy from waves and tidal currents" Institute for Ocean Technology, National Research Council. August, 2004. page 26.

[3] The 7th European Wave and Tidal Energy Conference "The Development of a Turbo-Generation System for Application in OWC Breakwaters".Portugal,2007, 6.

[4] ARIEF, SUROSO. *Hydraulic model test of wave energy conversion*. Report on the Sepuluh Nopember Institute of Technology, Surabaya, Indonesia. Jurnal Mekanikal June 2005, No. 19, 84 – 94.

[5] Utku, Şentürk.; Aydoğan, Öz damar. *Modelling the interaction between water column wave energy device*. Ege University-Turkey. Mathematical and Computational Applications, Association for Scientific Research, Vol. 16, No. 3, pp. 630-640, 2011.

[6] CASHMAN, DAVID, P. DARA. LO, SULLVAN. EGAN, MICHEL. G.; and Hayes, John. G. *Modeling and Analysis of an Offshore Oscillating Water Column Wave Energy Converter*. Hydraulics and Maritime Research Centre, University College Cork, Ireland. 2006.

[7]D, CARR.; A, McNABOLA.; and L.W, Gill. *Developing Rock Oscillating Water Column Wave Energy Conversion in Ireland* .Report on the Fourth Annual Symposium, Devon, UK. May 2010.

[8] IBRAHIM, B. *Seasonal Sea Wave Energy at al-Manara station in Tartous*, Elsevier Ltd. Energy Procedia, 19 (2012) 104 – 108.

[9] VINING, JENNIFER. *Ocean Wave Energy Conversion*. Advanced Independent Study Report, University of Wisconsin, USA. 2005, p: 1- 44.

[10] BAHRAMI, M. *Fluid Mechanics, Dimensional analysis and similarity*. December, 2009, page 8-9.

[11] SETOGUSHI, TOSHIKI. *The Study on the Hysteretic* dissertation, Submitted to Department of Energy and Material Science and Engineering, Saga University, Japan, March 2006.



الشكل (9) يبين صور للنموذج التجريبي المنفذ.

