

تصميم وأداء نظام ضخ كهروريحي لأغراض الشرب والري

علي خضور *

مجد نده **

(تاريخ الإيداع 22 / 5 / 2018 . قُبل للنشر 20 / 9 / 2018)

المخلص

يعرض البحث اعتبارات تصميم واختيار واختبار نظام ضخ كهروريحي لأغراض السقاية وتأمين مياه الشرب لمزرعة صغيرة أو منزل ريفي، وذلك بناءً على تقدير وسطي لاحتياجات المنطقة المقترضة تركيب نظام الضخ المتجدد فيها، على اعتبار توفر كمون رياح كاف لتشغيل اقتصادي وموثوق في منطقة التركيب.

في الأماكن التي تكون فيها الكهرباء غير متوفرة ، هناك وسائل أخرى ضرورية لضخ المياه للاستهلاك. أحد الخيارات المتاحة في بلادنا هو نظام ضخ كهريائي- ريحي. تشمل مزايا أنظمة الضخ الكهروريحية انخفاض تكاليف التشغيل ، التشغيل غير المراقب، صيانة منخفضة ، سهولة التركيب ، وحياة طويلة. هذه كلها مهمة في المواقع النائية حيث قد تكون الكهرباء غير متوفرة.

حتى الآن، كان التركيز على استخدام نظم الضخ الكهروشمسية، لكن من الأجدى أيضاً تطوير نظم ضخ كهروريحية منخفضة التكلفة وذات وثوقية عالية، بحيث تصبح متاحة قريباً تجارياً وبأسعار منافسة .

في هذا البحث تم عرض جميع الخطوات الضرورية والمكونات الرئيسية اللازمة لتصميم وبناء مضخة باستخدام نظام كهروريحي منخفض التكلفة ومتجدد وصديق للبيئة.

الكلمات المفتاحية: نظام ضخ كهروريحي، ضخ المياه لأغراض الشرب والري، المناطق النائية، الجدوى الاقتصادية، مضخة، صديق للبيئة.

* أستاذ مساعد في قسم هندسة تقانات الطاقات المتجددة- كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس-سوريا.

** طالب ماجستير - قسم هندسة المعدات والآليات- كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس-سوريا.

Design and Performance of an Wind-Electric Pumping System for Drinking and Irrigation Purposes

Ali khaddour*
Majd Naddah**

(Received 22 / 5 / 2018 . Accepted 20 / 9 / 2018)

Abstract:

The research presents considerations of design, selection and testing of an electric pumping system for irrigation and drinking water supply for a small farm or rural house based on an average estimate of the needs of the area where the renewable pumping system is supposed to be installed, given the availability of enough wind to operate economically and reliably in the installation area.

In places where electricity is not available, other means are needed to pump water for consumption. One of the options available in our country is an electric-wind pumping system. Advantages of electric pumping systems include low operating costs, unattended operation, low maintenance, easy installation, and long life. These are all important in remote locations where electricity may be unavailable.

So far, the emphasis has been on the use of electro-mechanical pumping systems, but it is also more efficient to develop low-cost, reliable, low-cost, low-cost pumping systems that will soon be available commercially and at competitive prices.

In this research has been introduced to all necessary steps and the main components necessary to design and build the pump using A low-cost, renewable and environmentally friendly electrochemical system.

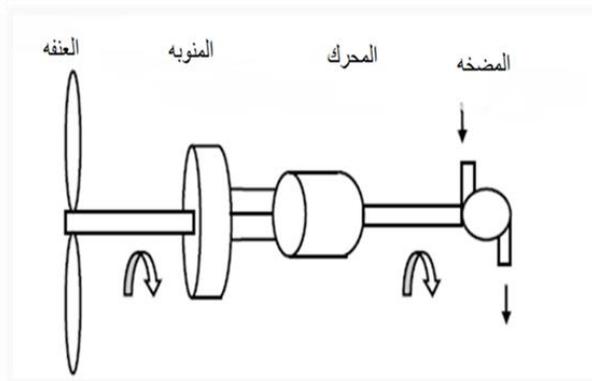
Keywords: Hydroelectric pump system, water pump for drinking and irrigation, remote areas, economic feasibility, pump, environmentally friendly.

*Assistant Professor, Department of Renewable Energies Technologies Engineering, Faculty of technical Engineering, Tartous University, Syria.

**Postgraduate student(M.A), Department of Equipment & Mechanisms, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Syria.

المقدمة:

في ظل تنامي الطلب على الطاقة، نتيجة ارتفاع معدلات النمو السكاني، وتزايد الحاجات البشرية وارتفاع وتيرة الاعتماد على التكنولوجيا الحديثة؛ أصبحت الحاجة ملحة للاهتمام بإيجاد بدائل للطاقة التقليدية، من خلال البحث عن وسائل تؤمن مصادر للطاقة بشكل دائم ومتجدد. وما يهمننا نحن في قطاع الزراعة اليوم، هو تسليط الضوء على الأهمية الاقتصادية والبيئية لاستغلال تلك الطاقات المتجددة وفي مقدمتها الطاقة الريحية المتاحة في معظم مناطق القطر في توليد الطاقة الكهربائية لاستخدامها في ضخ المياه من الآبار في حقول المزارعين، توفيراً للوقود الأحفوري المستخدم حالياً، وتوفيراً للطاقة الكهربائية المستمدة من خطوط نقل الطاقة، وبالتالي تخفيض تكاليف الإنتاج الزراعي بشكل عام. يبين الشكل (1) المخطط الصندوقي وصورة لنموذج العنفة المصممة والمستخدم في نظام الضخ الكهروريحي.



الشكل (1) : المخطط الصندوقي وصورة لنموذج العنفة المصممة والمستخدم في نظام الضخ الكهروريحي.

في هذا البحث سيتم استعراض تصميم وأداء نظام ضخ كهروريحي يؤمن مياه الري أو الشرب.

أهمية البحث، وأهدافه:

تتجلى أهمية البحث بأنه يتصدى لتصميم نموذج لنظام ضخ كهروريحي اقتصادي وبسيط قدر الإمكان يستغل كمون الرياح المتوفر في منطقة التركيب. يعتمد نظام الضخ هذا في تأمين الكهرباء اللازمة لتشغيل المضخة على الطاقة المحولة بالعنفة الريحية إلى طاقة كهربائية تشحن نظام بطاريات عن طريق مولدة مناسبة، ومن ثم يقوم نظام البطاريات هذا بتأمين التيار اللازم لعمل محرك المضخة، حيث إن نظام البطاريات يخزن الكهرباء لفترات عدم توفر رياح كافية لإقلاع العنفة من جهة، كما يؤمن نظام البطاريات تيار إقلاع كاف لمحرك المضخة، بالنتيجة لدينا نظام طاقة متجدد يؤمن ضخاً مجانياً للمستهلك السكني أو الزراعي.

يهدف البحث الى استغلال المياه المتوفرة والمياه السطحية (مياه الأنهار وقنوات الري)، وذلك عن طريق استخراجها بواسطة نظام ضخ مصمم لهذه الغاية، مستخدم لمضخات مناسبة تعمل بالطاقة الكهروريحية، وتخزينها في خزانات خاصة، ومن ثم إعادة ضخها إلى منظومة ري مناسبة. تكون فائدة هذه المنظومة عن طريق استغلال كمون

د.خضور

الرياح المتوافر في معظم المناطق السورية الواعدة ريحياً، خاصة النائية منها وحتى في حالة عدم توفر الطاقة الكهربائية عن طريق استغلال طاقة الرياح المتاحة مجاناً والمتجددة.

تصميم نظام الضخ ودراسة أدائه واقتصاديته:

1-خطوات تصميم ودراسة عناصر النظام:

يوجد أمران أساسيان في عملية تصميم أنظمة الضخ الكهروريحي:

- اختيار مكونات النظام الأكثر ملائمة بحيث تحقق صيانة أقل له وعمراً أطول وموثوقية أعلى.
- توافق مكونات النظام بحيث يتحقق تصميم نظام يعمل بأعلى كفاءة.

بشكل عام، إن الخطوات الأساسية المتبعة عند تصميم نظم ضخ المياه الكهروريحي هي:

- 1- تحديد حجم المياه الواجب ضخها كل يوم.
- 2- تحديد الارتفاع الكلي للضخ.
- 3- معرفة بيانات سرعة الرياح .
- 4- حساب معدل الضخ من خلال عدد ساعات سرعة الرياح القصوى.
- 5- اختيار نوع المضخة.
- 6- اختيار المحرك ذي خصائص سرعة -عزم متوافقة مع خصائص سرعة-عزم للمضخة.
- 7- اختيار نوع النظام.
- 8- اختيار مكونات النظام.
- 9- اختيار الموديلات المناسبة وطريقة ربطها وتركيبها.

2- اختيار نظام الضخ الكهروريحي:

1- تحديد الحاجة للمياه:

الخطوة الأولى في تحديد حجم نظام الضخ الكهروريحي هي تحديد كمية الماء التي نحتاجها، فإذا تفاوتت الحاجة للماء في أثناء الفصل يجب أن نعتمد الكمية الأكبر التي نتوقع أن نستهلكها، ويبين الجدول (1) بعض المعطيات بشكل تقريبي لاستهلاك الماء:

الجدول (1): استهلاك بعض الفعاليات للماء بشكل تقريبي [1].

التطبيق	الاستهلاك التقريبي
العائلة	(10) لتر باليوم للشخص بشكل وسطي
الماشية والخيول	(38-57) لتر باليوم لكل رأس
الأبقار الحلوبة	(76-114) لتر باليوم لكل رأس
الخراف والماعز	(7.6) لتر باليوم لكل رأس
الحيوانات الصغيرة	(0.96) لتر باليوم لكل (11) كغ من وزن الجسم
الدواجن	(23-45.6) لتر باليوم لكل (100) طير
الأشجار الصغيرة	(57) لتر باليوم في الطقس الجاف

2-2- تحديد مصدر المياه:

إن تحديد نظام الري يتعلق تعلقاً كبيراً بنوع الماء ومصدره وموقعه بالنسبة إلى المكان المطلوب تزويده بالماء، فمصدر الماء سيكون إما عميقاً (بئر) وإما سطحياً (بركة، جدول، سيل)، وتكون الآبار مفضلة بسبب نوعية الماء الجيدة والموثوقية بها. على أية حال، إن الآبار مكلفة بسبب الحفر خصوصاً عندما تكون عميقة كما أن مصادر المياه السطحية يمكن أن تتفاوت بشكل موسمي حيث إن كمية الماء ونوعيته تكون منخفضة في أثناء الصيف عندما يكون الطلب عليه أكثر.

بالنسبة إلى الآبار يجب أن تكون الاحتياجات الآتية معروفة ومحددة:

- مستوى الماء الساكن.
- اختلافات العمق الموسمية.
- تدفق (نسبة) تعويض الماء.
- نوعية الماء.

إذا كان البئر جديد الحفر فإن هذه المعلومات تؤخذ من حفار البئر، كما أن نوعية الماء ليست مهمة إذا لم تستخدم للاستهلاك البشري.

أما بالنسبة إلى المياه السطحية فيجب أن تكون الاحتياجات الآتية معروفة ومحددة أيضاً:

- التغيرات الموسمية.
- نوعية الماء، المتضمنة وجود الطين والبقايا العضوية... الخ.

يجب أن يتم تخطيط نظام تزويد الماء أولاً من أجل تحديد موقع مصدر الماء والنقاط المطلوبة للتوزيع، كذلك يجب أن يكون على المخطط الارتفاع لكي نستطيع أن نحسب الاختلاف في الارتفاع.

2-3- ملائمة موقع مصدر الماء للطاقة الريحية :

يجب أن يكون موقع مصدر الماء ملائماً لتركيبة نظام ضخ الماء الكهروريحي المستخدم.

عند تركيب نظام ضخ الماء الكهروريحي يجب معرفة الأمور الآتية:

- العنفات الريحية في مكان مكشوف ولا توجد عوائق أمامها.
- المواقع محضرة لوضع مضخة الماء والخزان وأجهزة النظام الأخرى.

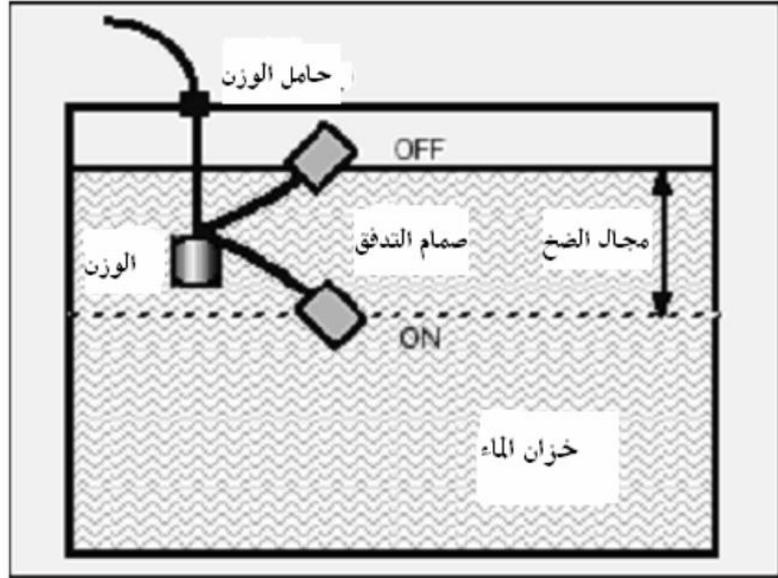
د.خضور

- العنفات الريحية قريبة من موقع المضخة لتقليل طول السلك وكلفة التركيب.
- إذا استعملت المدخرات يجب أن تكون جافة وأن توضع في المكان الصحيح.
- إذا كان الماء مطلوباً على مدار العام فإن موضوع تجمد المياه يجب أن يكون مدروساً وبخاصة في المناطق التي تنخفض فيها درجة الحرارة إلى ما دون درجة التجمد، وهذا يستدعي استخدام مقاومات حرارية في الشتاء، لذلك فإن المناطق الحارة هي المفضلة من أجل تخزين الماء.

2-4- خزان الماء:

جميع أنظمة ضخ المياه الكهروريحية تستخدم خزناً للمياه، والسبب في ذلك هو من أجل خزن الماء بدلاً من خزن الكهرباء في المدخرات، بذلك يتم تخفيض كلفة النظام وتعقيده. الطريقة العامة التجريبية لتحديد حجم الخزان أن يكون على الأقل يكفي لمدة من ثلاثة إلى خمسة أيام من الماء. كما أن الطريقة الأكثر شيوعاً لخزن الماء هي خزان بلاستيكي صالح للأغذية ويوضع في أغلب الأحيان في نقطة عالية من الأرض للاستفادة من الجاذبية لوصول الماء إلى التطبيقات المستخدمة في الري مثل التنقيط وغيرها.

يتم التحكم بالمضخة عن طريق صمام التدفق (فواشه) الذي يركب داخل الخزان حسب مستوى سطح الماء كما في الشكل (2).



الشكل (2): التحكم بالمضخة عن طريق صمام التدفق.

4- الحسابات التصميمية لنظام الضخ :

1-4- حساب استطاعة المضخة:

• الحسابات المائية والكهربائية للنظام المقترح عند المعطيات الآتية :

ارتفاع الضخ : $h=6m$

ارتفاع الخزان : $h = 2m$

الاحتياج المائي الكلي لمدة يوم : $5m^3$

عدد ساعات الريح الأعظمية $3h$

التدفق المطلوب لملء الخزان $Q_t = 1.6 \text{ m}^3 / \text{h}$

نحدد الاستطاعة النظرية اللازمة لضخ المياه N_p من العلاقة :

$$N_p = r * g * h_t * Q_t$$

حيث أن:

$$r = 1000 \text{ kg} / \text{m}^3 \text{ الكتلة النوعية للماء}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2 \text{ تسارع الجاذبية الأرضية}$$

بالتعويض نحصل على استطاعة المضخة النظرية

$$N_p = 1000 * 9.81 * 8 * 1.6 / 3600$$

$$N_p = 35 \text{ w}$$

كما موضح بالشكل (3) سيتم استخدام مضخة تعمل بالتيار المستمر من نوع Dc diesel transfer pump



الشكل (3): مضخة تيار مستمر 12V.

خصائص المضخة :

China بلد المنشأ.

مردود المضخة : 60%

$$Q = 2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0.55 \text{ l/s} = 33 \text{ l/min}$$

تحديد الضياعات :

من معادلة التدفق نحسب سرعة الجريان V

$$Q = V \cdot A$$

$$d = 0.75 \text{ inch} = 1.9 \text{ cm}$$

حيث قطر خرج المضخة

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = 1.96 \text{ m/s}$$

نحسب رقم رينولدز Re

$$Re = V * \frac{d}{\nu}$$

حيث أن:

d - قطر خرج المضخة

ν - اللزوجة الحركية للسائل. وتعطى قيمتها للماء $1.003 * 10^{-6}$

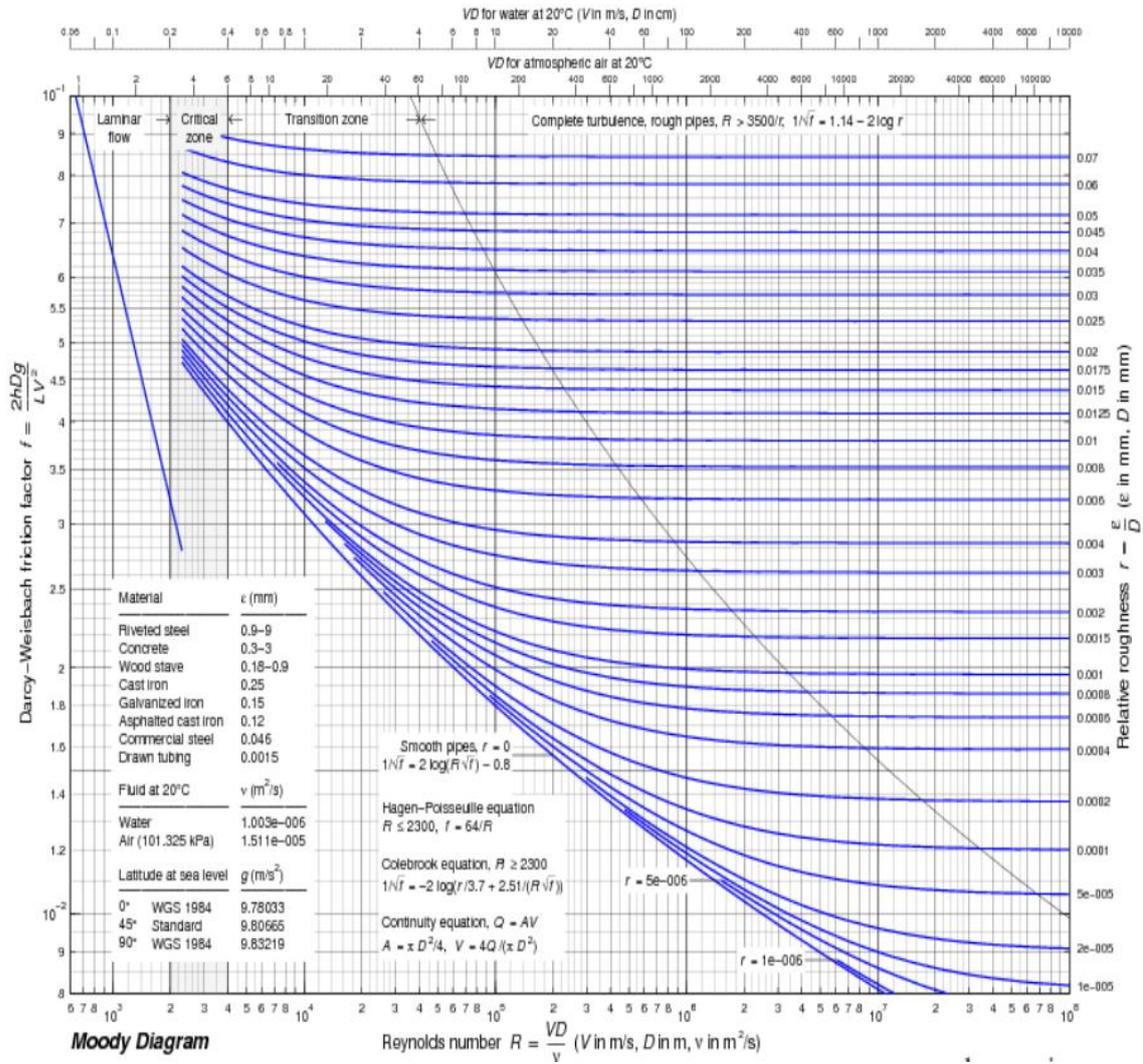
$$Re = 37128.61$$

وبالتالي الجريان مضطرب.

باعتبار الخشونة المطلقة $K=0.001$ في الأنابيب نقوم بحساب الخشونة النسبية k/d

$$k/d = 0.001/1.9 = 5.26 * 10^{-4}$$

من مخطط مودي من الشكل (4) [2].



الشكل (4): مخطط مودي.

وجد معامل الاحتكاك λ .

$$\lambda = 0.018$$

الضياعات الاحتكاكية:

$$h_f = \lambda * l * V^2 / (2 * g)$$

$$h_f = 1.4 \text{ m}$$

الضياعات الميكانيكية:

$$h_k = (\Sigma k) * \frac{v^2}{2g}$$

و الحد الأدنى للتوصيل 3 أكواع ٩٠ درجة بالإضافة إلى سكر نصف فتحة

$$\Sigma k = 3 * 30d + 6d$$

$$\Sigma k = 1.82 \text{ m}$$

$$h_k = 0.35 \text{ m}$$

$$H = h + h_k + h_f$$

$$H = 9.75 \text{ m}$$

استطاعة المضخة النظرية:

$$N_p = \rho * g * Q_t * h / (3600 * 1000)$$

$$N_p = \frac{1000 * 9.81 * 1.6 * 8}{3600 * 1000}$$

$$N_p = 0.034 \text{ kW}$$

استطاعة المضخة الحسابية:

$$N_A = \rho * g * Q * H / (3600 * 1000)$$

$$N_A = \frac{1000 * 9.81 * 2 * 9.75}{3600 * 1000}$$

$$N_A = 0.053 \text{ kW}$$

$$e f_p = 60\%$$

الاستطاعة الكهربائية اللازمة للمضخة N_R

$$N_R = \frac{N_A}{e f_p}$$

$$N_R = \frac{0.055}{0.60}$$

$$N_R = 0.091 \text{ kW}$$

$$N_R = 91 \text{ W}$$

4-2 حسابات وتصميم توربينات الرياح:

• اعتبارات الحمل الأساسية في تصميم توربينات الرياح:

يجب الأخذ في الاعتبار المقاومة (strength) والأداء والسلوك الديناميكي (Dynamic Behavior) وخواص

التعب (Fatigue properties) وجميع الاعتبارات البسيطة للمادة التي ستصنع توربينة الرياح .

•الحمولات القصوى :

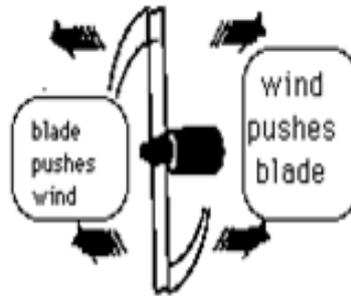
تصنع توربينات الرياح من أجل الاستفادة من الطاقة الحركية للرياح . ولذلك فإنه لا تصنع توربينات الرياح بريش كثيرة للدوار مثل طواحين الهواء الأمريكية القديمة .
التوربينات المتعددة الريش أو التي لها ريش عريضة مثل التوربينات التي لها دوار صلب ومصمت (solid rotor) فإنها ستكون معرضة إلى قوى كبيرة جدا عند هبوب الرياح بسرعة الأعاصير . ويجب أن نتذكر أن محتوى الطاقة للرياح يتغير مع مكعب سرعة الرياح وللمحد من تأثير الرياح القوية فإن المصانع عادة تعتمد إلى صنع توربينات قليلة الريش وطويلة وقليلة السماكة كما يلجأ صانعي التوربينات إلى تصنيع توربينات تدور بسرعة منخفضة نسبيا عند تجميع الريش السمكة (narrownees) التي تواجه الرياح لتبقى ضمن حدود التشغيل المسموح بها .

•أحمال الكلال والتعب:

توربينات الرياح تكون معرضة إلى رياح متقلبة ومرتدة ولذلك يتولد عن هذه الرياح قوى مترددة وهذه واضحة بالتفصيل في حالة إذا كانت توربينات الرياح واقعة في طقس مضطرب جدا . إن المكونات التي تتعرض إلى انحناء متكرر مثل ريش الدوار فإنه سيظهر عليها تشققات سوف تؤدي في النهاية إلى كسر وتحطم المكونات . إن كلا المعادن هي مشكلة معروفة جيدا في معظم الصناعات ، ولذلك فإن المعادن لا تفضل بشكل عام كمواد لريش الدوار ، ومن المهم جدا عند تصميم توربينة الرياح قبل كل شيء حساب كيفية تغير اهتزاز المكونات والأجزاء على انفراد ومجمعة معا وأيضا حساب قوى الانحناء والاستطالة للمكونات وهذا يتعرض له موضوع الديناميكا الإنشائية (structural dynamic) حيث يقوم الفيزيائيون بإعطاء نماذج رياضية بالحاسوب تقوم بتحليل الأداء الكلي لتوربينة الرياح .

•شكل طرف ريشة الدوار:

بما ان طرف الريشة يتحرك فعلا أسرع من جذر الشفرة فإن ذلك يأخذ اهتماما كبيرا عند تصميم الدوار ، وبالمراقبة الدقيقة لاختلاف ريش الدوار فإنه من الملاحظ وجود تغيرات دقيقة في هندستها خلال ساعات العمل ، والبحوث أيضا عملت من اجل الأداء حيث أن معظم العزم (العزم الدوراني) للدوار يأتي من الجزء الخارجي للريش . بالإضافة إلى ذلك فإن سريان الهواء حول طرف ريش الدوار هو معقد جدا مقارنة بسريان الهواء خلال باقي أجزاء الريشة. الشكل (5) يوضح ذلك .



الشكل (5) : طرف الريشة

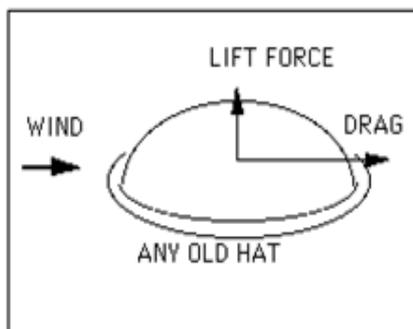
تعريفات هامة :

إن ريش دوار توربينة الرياح هي التي تأخذ القدرة من الرياح بواسطة إعاققتها للرياح فيحصل قوة فعل ورد فعل بين ريش الدوار والرياح، وهناك نوعان من القوى المؤثرة على الريش هما :

قوة الجر (Drag Force): وهي القوة التي تنتج وتعمل في اتجاه الرياح أي إنها تؤثر في اتجاه موازي لاتجاه الرياح وهي تقاوم حركة الريش.

قوة الرفع (Lift Force): وهي القوة التي تؤثر دائما باتجاه عمودي على اتجاه الرياح وهي تساعد في حركة الريش .

سابقاً في توربينات الرياح القديمة كانت قوة الجر هي المستخدمة في تحريك وتدوير ريش التوربينة ولكن تلك التوربينات تدور بسرعة بطيئة جداً وحقيقة ان الريش التي تتحرك باتجاه الرياح (down wind) تعمل على بطء دوران العضو الدوار . أما في توربينات الرياح الأفقية المحور فإنها لا تستفيد من قوة الجر وعضوا عن ذلك تستخدم قوة الرفع. الشكل (6) يوضح ذلك.



الشكل (6) : قوة الرفع .

3-4 العلاقات الهندسية الخاصة بتصميم الريشة:

عند تصميم الريش فإنه يلزم معرفة طول الوتر وزاوية الريشة (β) عند المقاطع المتسلسلة على طول الريشة وعند كل مقطع يجب أن ينتج الشكل الصحيح للريشة للحصول على قوة الرفع المناسبة .

ولحساب قوة الرفع وقوة الجر تستخدم العلاقات الآتية:

$$\text{Lift Force} = 1/2 \rho C_l A V^2$$

$$\text{Drag Force} = 1/2 \rho C_D A V^2$$

حيث:

$$(\rho) : \text{كثافة الهواء (Kg/ m}^3 \text{)}$$

(A) : مساحة الريشة المستخدمة لإنتاج قوة رفع عند نصف قطر (r) وهي تساوي:

$$A = i \times c \times \Delta r$$

حيث :

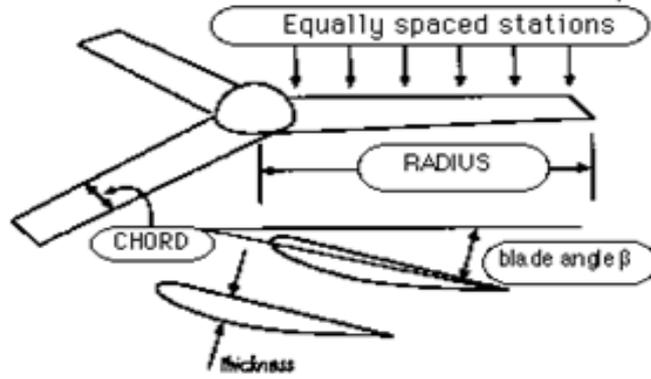
c : طول الوتر

i : عدد الريش

معامل الرفع : C_L

معامل الجر : C_D

إن هذين العاملين لا يمكن حسابهما وإنما يتم قياسهما معملياً .



الشكل (7) : بارامترات الشفرة .

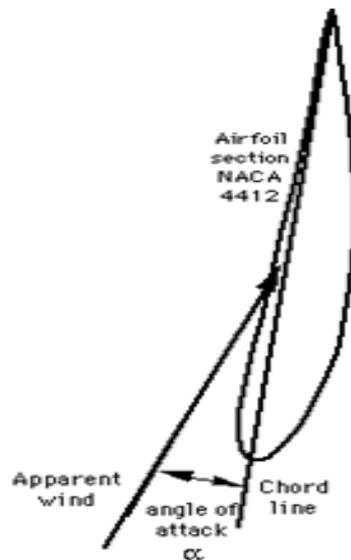
(w) : سرعة الرياح الظاهرية Apparent wind speed (m/sec)

إن كلاً من قوة الرفع وقوة الجر تعمل على رفع الريشة باتجاه الرياح (downwind) وتعمل قوة الرفع على دوران الريشة وتبطن الرياح وهما يعتمدان على البارامترات السابقة.

•زاوية الهجوم (α):

وهي الزاوية المحصورة بين الوتر واتجاه سرعة الرياح الظاهرية المصطدمة بالريشة ، وعند تصميم دوار توربينة الرياح فإن هذه الزاوية تعتمد على زاوية الريشة (β) وعلى زاوية الرياح الظاهرية (Φ) حيث أن :

$$\beta = \Phi - \alpha$$



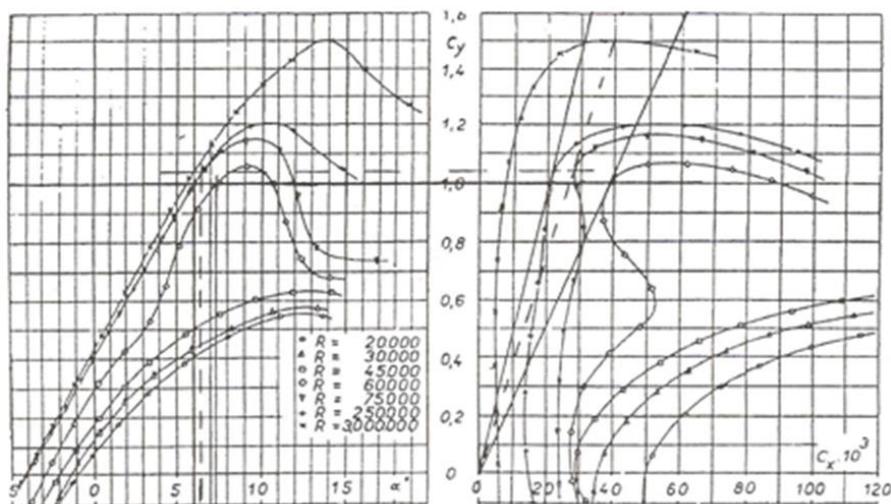
الشكل (8) : زاوية الهجوم .

إن قيمة الزاوية (α) لها علاقة كبيرة بقوة الرفع والجر المؤثرة على الريشة ولهذه الزاوية قيم محددة بحيث إذا زادت هذه الزاوية يزداد معامل الرفع (C_L) إلى حد معين تظهر فيه حالة الانهيار (stall) (حالة توقف الريشة عن الدوران), ولذلك يجب اختيار هذه الزاوية بدقة للحصول على أكبر قيمة لـ (C_L/C_D) ولإيجاد هذه الزاوية بشكل صحيح فإنه يجب أن تجري عمليات مسبقة وذلك لأن كلاً من معاملي الرفع والجر (C_L, C_D) يعتمدان على المقطع وعلى رقم رينولد.

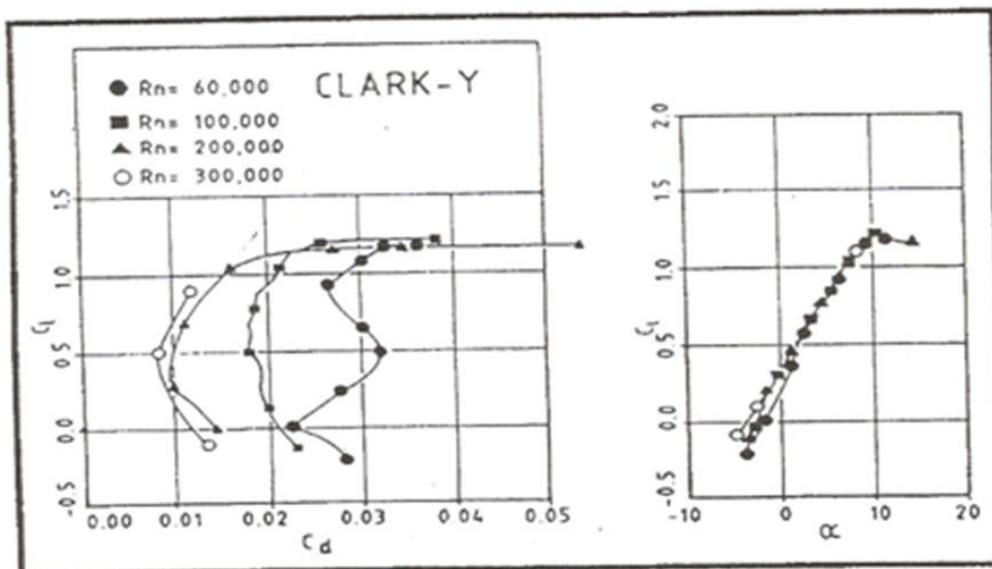
ويمكن حساب رقم رينولد عن طريق العلاقة:

$$R_e = \rho \times \text{chord} \times \text{Apparent wind} / \mu$$

والشكلان (9) و(10) يوضحان التغير بين ($C_L/\alpha, C_L/C_D$) مع أرقام رينولدز مختلفة, وهذه المنحنيات تختلف على حسب نوع البروفيل المستخدم وعلى رقم رينولدز .



الشكل (9): منحنيات تغير C_L/C_D مع أرقام رينولدز.



الشكل (10): منحنيات تغير C_L/α مع أرقام رينولدز.

د.خضور

من الشكلين السابقين نجد أنه عند أرقام رينولدز صغيرة فإنه يقابل ذلك قيم صغيرة لـ (C_L/C_D) والذي يمكن أن يؤدي إلى الصعوبات في حركة الدوار وعملياً معظم المقاطع تعطي أفضل قيم لـ (C_L/C_D) عند زاوية $\alpha = 5^\circ$ وبشكل عام يمكن القول انه عند عدم توفر بيانات متاحة يكمن القول أن زاوية الريشة (β) يجب أن تكون :

$$\beta = \Phi - 5$$

• زاوية الريشة (β) :

هي الزاوية المحصورة بين الوتر وبين مستوى الدوران ولتحديد الزاوية (β) لابد من معرفة الزاوية Φ عند اصطدام السرعة الظاهرة بمستوى الدوار ويمكن حساب الزاويتين (Φ, β) باستخدام العلاقات الآتية: $\beta = \Phi - \alpha$

$$\Phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \left(\frac{1}{\lambda_r} \right)$$

• نسبة السرعة الطرفية:

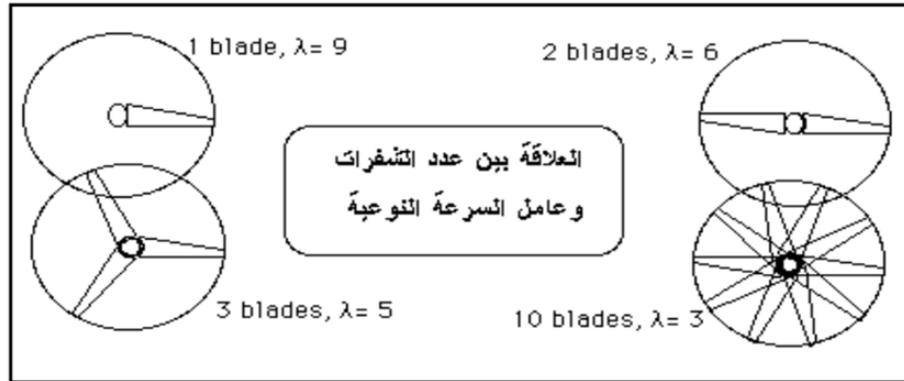
هي نسبة السرعة المحيطية للريشة عند الطرف إلى سرعة الرياح ويرمز لها بالرمز (λ) أو (SR) ، وتعطى بالعلاقة الآتية :

$$\lambda = (U_{tip}/V_{wind})$$

U_{tip} : سرعة طرف الريشة.

V_{wind} : سرعة الرياح.

ويمكن القول بشكل عام إن قيمة هذا المعامل تتراوح عند السرعات البطيئة $(\lambda = 1$ to $4)$ ، وعند السرعات العالية $(\lambda = 5$ to $7)$ وهناك تصنيف تبعاً لعدد الريش، والشكل (11) الآتي يوضح ذلك.



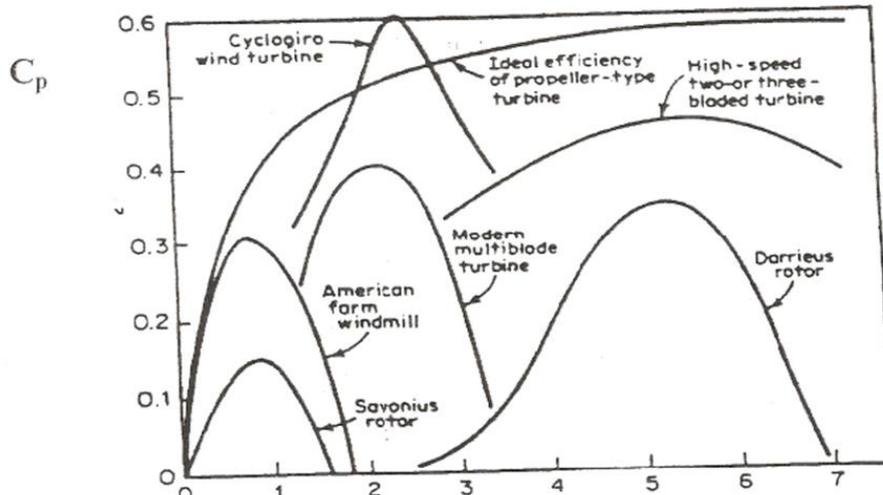
الشكل (11): العلاقة بين عدد الشفرات وعامل السرعة النوعية

إن معامل السابق له تأثير كبير جداً في كفاءة التوربينة ، حيث أن كفاءة الدوار يمكن حسابها بالعلاقة الآتية:

$$\eta = (1 - (C_D/C_L)\lambda)/(1 + 1/\lambda (C_D/C_L))$$

وهناك قيم مثالية لـ (λ) لكل توربينة رياح.

إن معامل القدرة (C_p) يعتمد على نسبة السرعة الطرفية (λ) ويصل إلى أعلى قيمة له عند السرعات القصوى أي بمعنى أن ($\lambda = 6$ to 7)، والشكل (12)، يوضح هذه العلاقة [3]:



الشكل (12): منحنيات معامل القدرة C_p بنسبة السرعة الطرفية (λ)

بعد إيجاد الزاوية (β) واختيار (λ) مازلنا نحتاج إلى تعيين طول الوتر.

• طول الوتر:

هو أطول خط في مقطع الريشة الذي يربط بين مقدمة الريشة ومؤخرتها، إن طول الوتر يختلف عند كل مقطع من مقاطع الريشة ويزداد ناحية جذر الريشة، ويجب حسابه بشكل صحيح لكي يقابل القوة المحورية التي تحقق قانون بيتز والتي لها علاقة بقوة الرفع (18,8). ويمكن حساب طول الوتر من العلاقة الآتية: [4]

$$Chord = \frac{8 \pi r}{3 Cl} (1 - \cos \Phi)$$

إن طول الوتر يتناسب عكسياً مع نصف القطر (r) لذلك يجب أن يكون شكل الريشة مستدق الطرف (Tapered) ويتناسب عكسياً أيضاً مع عدد الريش؛ لذلك كلما كان عدد الريش قليلاً زاد عرض الريشة.

5- الحسابات العملية:

1- اختيار الموقع لبناء توربينة الرياح:

لا يمكن بناء توربينة الرياح، ولا إجراء الحسابات التصميمية لريش الدوار إلا عند معرفة المعدل السنوي لسرعات الرياح ومعرفة تغير اتجاهها طوال العام في الموقع المرشح لبناء وحدة توربينة رياح عالية ولا يتسنى ذلك إلا بإجراء قياسات ميدانية أو بأخذ معلومات وقياسات جاهزة من محطات الأرصاد.
الموقع: مدينة طرطوس قرية الوردية أخذنا متوسط سرعة الرياح في كل شهر ومن ثم المتوسط السنوي لسرعة الرياح.

المتوسط السنوي	ك1	ت2	ت1	أيلول	آب	تموز	حزيران	أيار	نيسان	آذار	شباط	ك2	العام/الشهر
7 م/ثا	7	9	6	4	4	3	5	6	9	9	11	11	2015
6 م/ثا	10	8	4	6	3	2	5	7	3	8	6	10	2016
6.2 م/ثا	9	8	8	7	3	2	4	6	8	5	6	9	2017

الجدول (2): متوسط سرعة الرياح في مدينة طرطوس.

2- الحسابات التصميمية للعنفة:

المطلوب: تصميم عنفة ريحية عند المعطيات الآتية:

سرعة الرياح 6m/s-الاستطاعة الميكانيكية $P_m = 200$ w-معامل القدرة $C_p = 0.4$ -نسبة السرعة الطرفية $\lambda = 5$

الحل:

من قانون معامل القدرة CP

$$C_p = \frac{P_m}{\frac{1}{2} \rho A V^3}$$

$$A = \frac{2P}{C_p \rho V^3} = \frac{2 * 200}{1.25 * 0.4 * 6^3} = 3.7 \text{ m}^2$$

$$A = \pi R^2$$

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{3.7}{\pi}} = 1 \text{ m}$$

R= 1 m نصف قطر الدوار

من قانون نسبة السرعة الطرفية:

$$\lambda = \frac{U}{V} = \frac{R \cdot \omega}{V}$$

السرعة الزاوية

$$\rightarrow \omega = \frac{\lambda \cdot V}{R} = \frac{5 * 6}{1} = 30 \text{ rad/sec}$$

$$n = \frac{60 * \lambda * V}{2 * \pi * R}$$

$$\rightarrow n = \frac{60 * 5 * 6}{2 * \pi * 1} = 286 \text{ rpm}$$

السرعة المحيطية

$$U = \omega * R$$

$$U = 30 * 1 = 30$$

نحسب سرعة الرياح النسبية من مثلث السرعة:

$$W \rightarrow = U \rightarrow + V \rightarrow$$

وهو عبارة عن مثلث قائم

$$W = \sqrt{U^2 + V^2}$$

وهي سرعة الرياح النسبية

$$W = \sqrt{30^2 + 6^2} = 30.6 \text{ m/s}$$

3- تصميم الشفرة:

عند تصميم الشفرة يفضل لتوليد الكهرباء صلابة منخفضة للدوار وأقل عدد للشفرات، والعمل عند معدل سرعات عالٍ، ومن أجل الاستقرار البنيوي والأيروديناميكي نفترض وجود ثلاث شفرات في الدوار، ومن المعلومات المتوفرة لـ NACA 4412 airfoil نلاحظ أن أصغر قيمة لـ C_D/C_L هي 0.8، ونحصل عليها عند زاوية انحراف 4° وعامل الرفع C_{LD} قيمته 0.8.

الطول المتوسط للشفرات يبدأ من 0.1R إلى R. تقسم إلى 9 أجزاء عند مسافة 0.1m يحسب وتر وزاوية انحراف الشفرات باستخدام العلاقات الآتية:

$$\lambda_r = \frac{\lambda_d r}{R}$$

$$\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_r}$$

$$\beta = \phi - \alpha$$

$$C = \frac{8 \pi r}{B C_{ld}} (1 - \cos \phi)$$

نقوم بتطبيق العلاقات لحساب الوتر والمعطيات المطلوبة:

$$\lambda_r = \frac{\lambda_d r}{R} = \frac{5 * 0.1}{1} = 0.5$$

$$\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_r} = \frac{2}{3} \tan^{-1} \left(\frac{1}{0.5} \right) = 42^\circ$$

$$\beta = \phi - \alpha = 42 - 5 = 37$$

$$C = \frac{8 \pi r}{B C_{ld}} (1 - \cos \phi) = \frac{8 * \pi * 0.2}{3 * 0.8 *} (1 - \cos(42)) = 0.26 \text{ m}$$

مقدار الميلان X

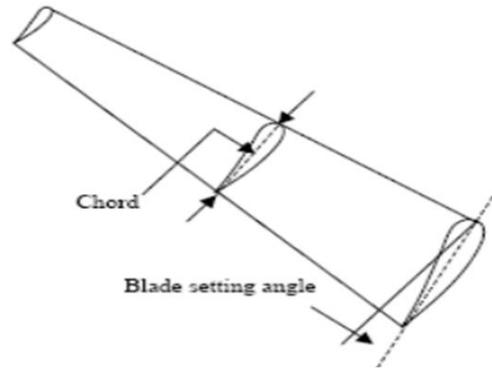
$$X = c \tan (\beta)$$

تعطى النتائج في الجدول الآتي [4]:

الجدول (3): حسابات الشفرة.

section	sectional radius (m)	λ_r	\emptyset	Chord (m)	X (m)	Blade Setting Angle(degrees) β	Angle of attack (degree)	Design Lift efficient cl
1	0.10	0.5	42	0.26	0.19	37	5	0.8
2	0.20	1	30	0.28	0.13	25	5	0.8
3	0.30	1.5	22.6	0.24	0.07	17.6	5	0.8
4	0.40	2	17.7	0.19	0.04	12	5	0.8
5	0.50	2.5	14.5	0.16	0.02	9.5	5	0.8
6	0.60	3	12.2	0.14	0.01	7.3	5	0.8
7	0.70	3.5	10.6	0.12	0.01	5.6	5	0.8
8	0.80	4	9.3	0.11	0.01	4.3	5	0.8
9	0.9	4.5	8.3	0.09	0	3.3	5	0.8
10	1	5	7.5	0.08	0	2.5	5	0.8

نطبق هذه الأبعاد لتصميم الشفرة فتكون كما هو مبين بالشكل (13):



الشكل (13): شكل الشفرة المصممة

4- تصميم علبة السرعة:

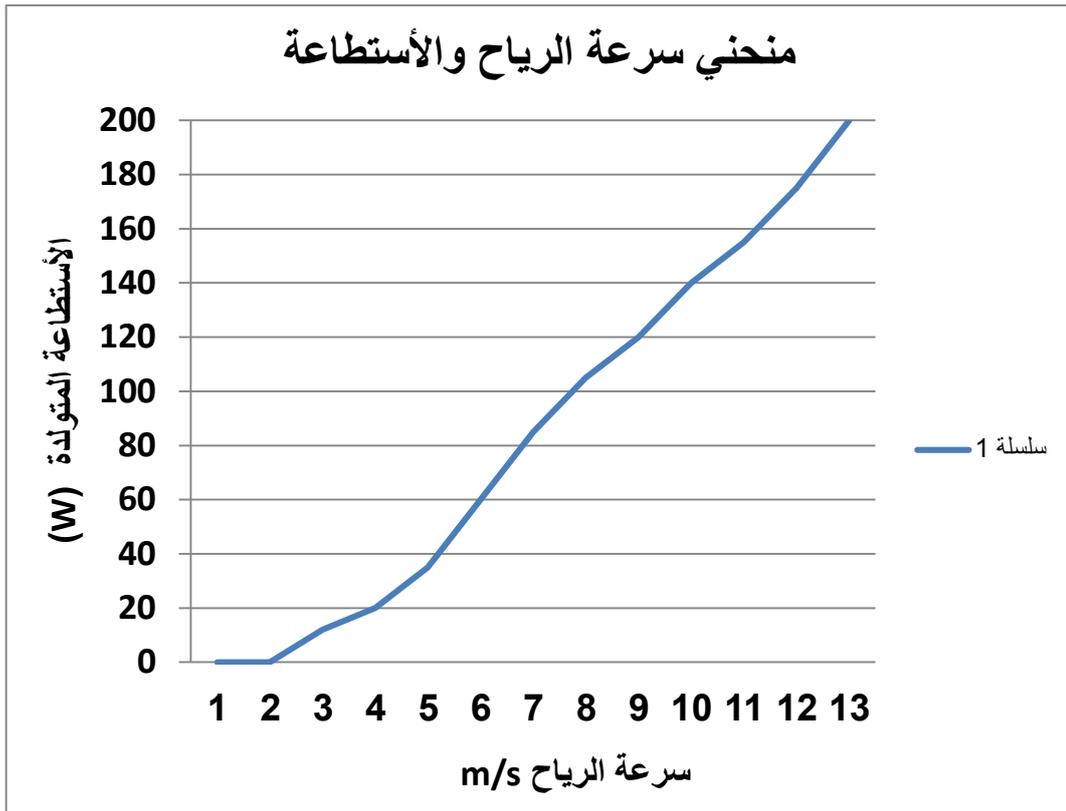
من المعلوم لدينا أن عدد دورات المحور حامل الريش وهي 286r.p.m والمولد المستخدم بحاجة الى عدد دورات اكثر من 1000 r.p.m كي يعطي تياراً كهربائياً مناسباً لشحن البطارية. فقمنا بتركيب بكرة كبيرة على المحور القائد قطرها 26cm وبكرة صغيرة على محور الدينامو وقطرها 6cm والبكرتان متصلتان ببعضهما بواسطة قشاط، فتكون نسبة تحويل عدد الدورات 4.3 دورة أي كل دورة للبكرة الكبيرة تعطينا 4.3 دورة على البكرة الصغيرة، وبذلك نكون حققنا عدد الدورات المطلوبة للدينامو كما في الشكل (14).



الشكل (14): العنفة المصممة وعلبة السرعة

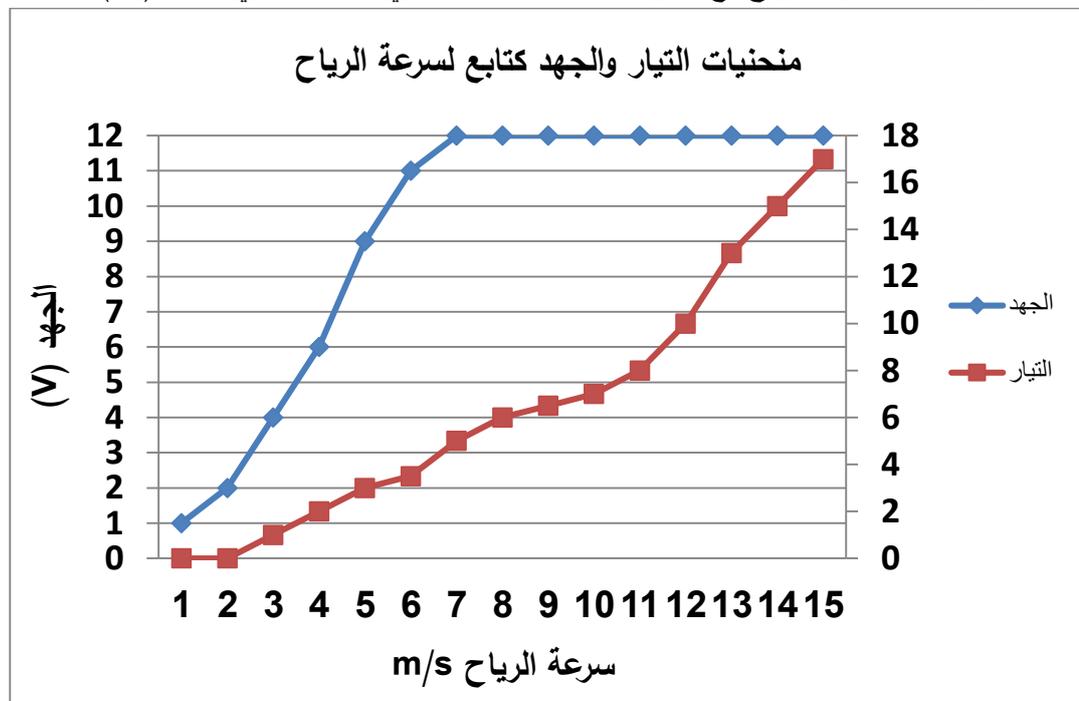
5- الدراسة التجريبية للنظام:

تم تجريب نظام الضخ الكهروميكانيكي وتمثيل النتائج بيانياً في مخططات حيث نلاحظ من الشكل (15) أن العنفة ذات حساسية عالية للهواء، حيث تبدأ بالدوران عند سرعة رياح 2 m/s، وتبدأ في توليد التيار الكهربائي عند سرعة 3m/s، وكلما ازدادت سرعة الرياح يؤدي ذلك إلى تزايد الاستطاعة المولدة من الدينامو، والتي سوف تستخدم في شحن المدخرة.



الشكل (15) : منحني سرعة الرياح والأستطاعة .

نلاحظ من المنحني في الشكل (15) أنه كلما ازدادت سرعة الرياح تزداد الأستطاعة المتولدة. تمت دراسة علاقة سرعة الرياح مع التيار والجهد المتولدين، كما في المخطط الآتي الشكل (16):



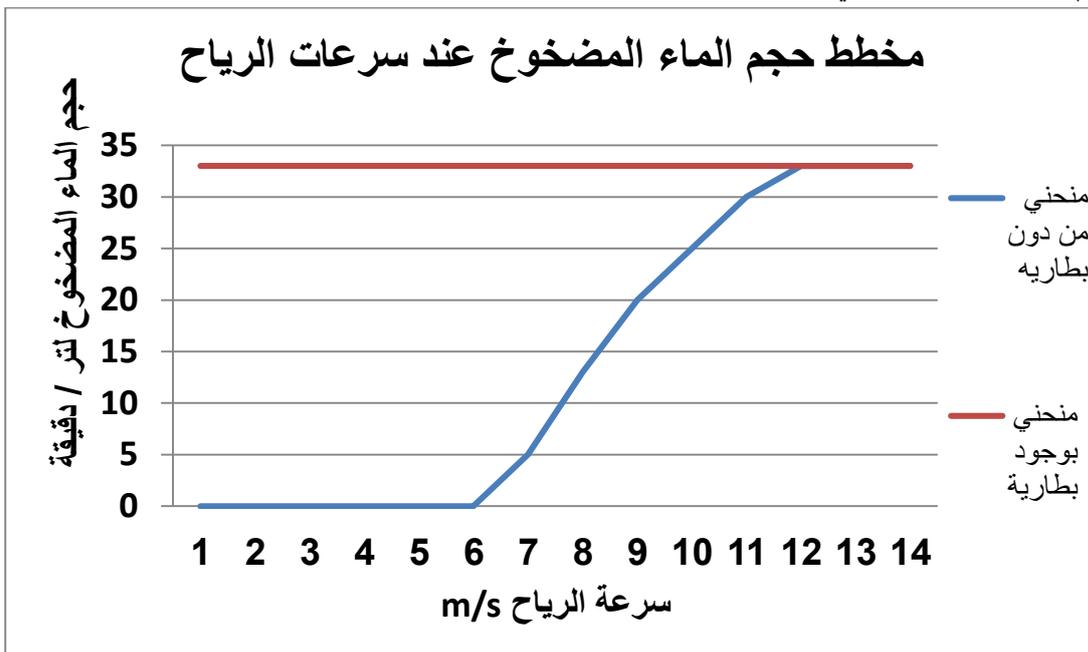
الشكل (16): منحنيات التيار والجهد كتابع لسرعة الرياح

نلاحظ من الشكل (16) أن الجهد يبقى منظماً أو ثابتاً على القيمة 12V، ويحافظ على هذه القيمة مهما ازدادت سرعة الدوران بينما يتزايد التيار.

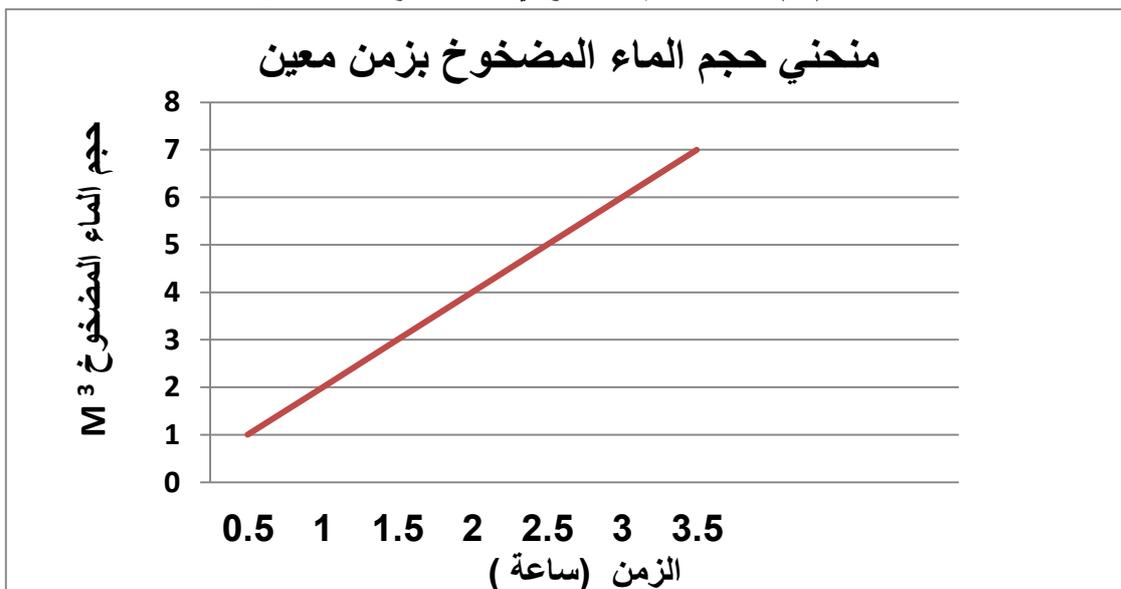
تم إجراء تجربتين للضخ:

• الأولى: وهي وصل المضخة على البطارية التي تشحن من تيار دينمو العنفة، فكانت نتيجة الضخ ذات تدفق ثابت بكامل استطاعة المضخة بحيث تعطي 33 litr في الدقيقة، وذلك على ارتفاع 8m.

• الثانية: وهي وصل المضخة مباشرة إلى مولد العنفة فكانت نتيجة الضخ ذات تدفق متغير متعلق بسرعة الرياح، ويجب أن تكون سرعة الرياح ذات سرعة عالية من أجل تأمين تيار إقلاع المضخة، والمنحنيات الآتية في الشكل (17) تبين عمل المضخة في الحالتين.

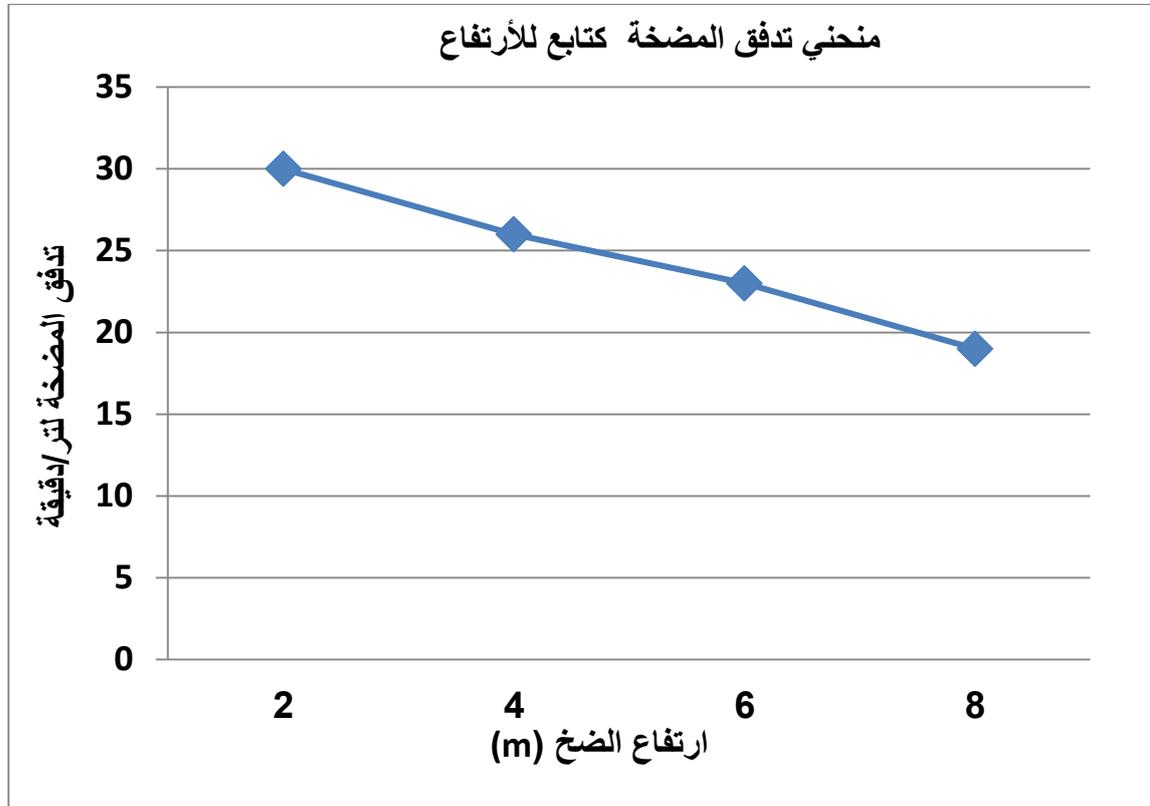


الشكل (17): منحنيات حجم ماء الضخ في حال الربط مع المدخرة وبدونها.



الشكل (18): حجم ماء الضخ خلال زمن معين.

نلاحظ من المنحني في الشكل (18) أن الوقت اللازم لضخ كمية الماء المفروضة (وهي $5 \text{ m}^3/\text{day}$) هو ثلاث ساعات.



الشكل(19) : منحني الارتفاع والتدفق.

نلاحظ من المنحني في الشكل (19) أنه كلما ازداد الارتفاع انخفض تدفق الماء المُضَخَّ .

6- الجدوى الاقتصادية المعتمدة في الحسابات الاقتصادية للدراسة:

• الأسس والمعايير المعتمدة في الحسابات الاقتصادية للدراسة:

1. حسب سعر وقود الديزل (المازوت) وفقاً لمتوسط السعر السائد خلال فترة إعداد الدراسة وهو 185 ليرة سورية / ليتر.
2. تم حساب كلفة المكافئ الهيدروليكي ليتم اعتماده كمؤشر اقتصادي في المقارنات بين طرق الضخ التقليدية والمتجددة، والذي يعني رفع متر مكعب واحد من المياه لارتفاع متر واحد.
3. تم اعتبار عمر منظومة الضخ بكافة نماذجها 20 سنة.
4. تم اعتماد طرق الحسابات البسيطة والتي لم تأخذ بالاعتبار القيمة الحالية للكلفة ومعاملات الحسم المتبعة في تقييم المشروعات ودراسات الجدوى الاقتصادية بشكل عام.

• الجدوى الاقتصادية للطاقات المتجددة من خلال مؤشر كلفة المكافئ الهيدروليكي:

ستتم دراسة الجدوى الاقتصادية لاستخدام الطاقات المتجددة مقارنة مع الطاقة التقليدية وفقاً للمعايير والأسس المذكورة أعلاه، حيث سنبين أولاً جدوى استخدام الطاقة الريحية مقارنة بالطاقات التقليدية من خلال مؤشر كلفة المكافئ الهيدروليكي:

• دراسة حالة الضخ للنظام المدروس:

بفرض وجود بئر مواصفاتها كالتالي:

- العمق الستاتيكي للمياه في البئر: 8m

- العمق الديناميكي: 10m

وباعتبار أن:

الكتلة النوعية للماء $(\rho) = 1000$ (كغ/م³)

تسارع الجاذبية الأرضية $(g) = 9.8$ (م/ثا²)

• الجدوى الاقتصادية:

سيتم مقارنة تكاليف ضخ المياه بواسطة النظام الكهروريحي المقترح للبئر ذي المواصفات المذكورة أعلاه مع نظام ضخ تقليدي يستخدم مضخة كهربائية تزود بالطاقة عن طريق مجموعة توليد تعمل بواسطة الوقود الأحفوري (الديزل)، وذلك عن طريق حساب الكلفة لدورة العمر الافتراضي للنظامين خلال 20 سنة، وذلك كما هو مبين في الجدول أدناه، مع الأخذ بعين الاعتبار أن الأسعار الواردة في الجدول هي أسعار تقديرية لا سيما أسعار مضخة النظام الكهروريحي، وذلك نظراً لكونها غير منتشرة بكثرة محلياً حيث يتم استيرادها حسب الطلب؛ لذلك فقد تم اعتماد الأسعار العالمية وإضافة قيمة 30% على السعر العالمي كتكاليف نقل وتأمين ورسوم جمركية وأرباح للمستورد.

الجدول (4): تكاليف المكافئ الهيدروليكي لكلا النظامين.

نوع النظام	الوحدة	ديزل	ريحي
استطاعة المضخة التصميمية	(w)	370	300
استطاعة المضخة حسب المتوفره تجارياً	(w)	370	300
استطاعة مجموعة التوليد	(w)	1000	600
التكاليف الثابتة:			
كلفة المضخة	ps	25000	20000
كلفة مجموعة التوليد	ps	300000	300000
كلفة غرفة مجموعة التوليد	ps	80000	لا يوجد
كلفة خزان الوقود	ps	75000	لا يوجد
كلفة خزان المياه	ps	150000	150000
أجور التركيب	ps	20000	20000

د.خضوع

490000	650000	ps	مجموع التكاليف الثابتة
			تكاليف التشغيل والصيانة:
لا يوجد	21960	liter	استهلاك الوقود I
لا يوجد	4062600	ل س	كلفة الوقود
لا يوجد	300000	ل س	كلفة استهلاك الشحوم والزيوت
10000	100000	ل س	كلفة صيانة المجموعة
10000	4462600	ل س	مجموع تكاليف التشغيل والصيانة
500000	4527600	ل س	المجموع الكلي للتكاليف
1	10	ل س	كلفة المكافئ الهيدروليكي

كمية المياه المُضخَّة في اليوم (Q) = معدل تصريف البئر في الساعة (q) × عدد ساعات الرياح المكافئة في اليوم (G):

$$Q = 2 * 3 = 6 \text{ m}^3$$

حساب المكافئ الهيدروليكي اليومي للضخ (M4) = كمية المياه المُضخَّة في اليوم (Q) × ارتفاع الضخ (h)

$$M4 = 6 * 10 = 60 \text{ m}^3 / \text{day}$$

كلفة المكافئ الهيدروليكي السنوي = المجموع الكلي للتكاليف ÷ المكافئ الهيدروليكي السنوي

$$\text{كلفة المكافئ الهيدروليكي السنوي للضخ بالديزل} = \frac{4527600}{60 * 366 * 20} = 10 \text{ ل.س}$$

$$\text{كلفة المكافئ الهيدروليكي السنوي للضخ الكهروميكانيكي} = \frac{500000}{60 * 366 * 20} = 1 \text{ ل.س}$$

7- قيمة الوفر الاقتصادي في الوقود الأحفوري باستخدام الطاقات المتجددة للضخ من الآبار في محافظة طرطوس:

بلغ إجمالي أعداد الآبار سواء المرخصة أو غير المرخصة في محافظة طرطوس ، بحسب وزارة الموارد المائية (الهيئة العامة للموارد المائية في طرطوس) لعام 2018 نحو 16312 بئراً، منها 2300 تعمل على الديزل، اذا فرضنا عملت هذه الآبار لمدة 9 ساعات في اليوم وتستهلك في كل ساعة لتراً فتكون مستهلكة على مدار السنة ما يقدر بحوالي 7576200 مليون لتر من المازوت سنوياً، وهناك نحو 14012 بئراً تعمل على الطاقة الكهربائية تستهلك سنوياً ما يعادل 20000000 مليون كيلو واط ساعي من الكهرباء.

وبإجراء الحسابات البسيطة يتبين لدينا أن ما قيمته نحو 1.4 مليار ليرة سورية تدفع سنوياً للضخ من الآبار باستخدام الطاقة التقليدية (على اعتبار أن السعر الرسمي للمازوت وهو 185 ليرة سورية للتر الواحد)، ولكن في الحقيقة لا يستطيع المزارع تأمين احتياجاتهم من المازوت بهذا السعر فهو يدفع وسطياً نحو 225 ليرة سورية أو أكثر للتر الواحد، وبالتالي يكون ما يدفعه المزارعون سنوياً للضخ من الآبار باستخدام الطاقة التقليدية (ديزل أو كهرباء) يصل إلى أكثر من 2 مليار ليرة سورية حسب السعر السائد، وفقاً لما يلي:

الجدول (5): قيمة الوقود والطاقة.

قيمة الوقود المستهلك سنويا سعر اللتر (185 ل /س)	1.4	مليار ليرة سورية
قيمة الطاقة الكهربائية المستهلكة سنويا سعر الكيلو واط الساعي الزراعي (29ل.س/ك.و.س)	580	مليون ل س
المجموع	2	مليار ل س

فلو استطعنا التحول لاستخدام الطاقات المتجددة بنسبة 50 % على الأقل من عدد الآبار الكلية الموجودة في محافظة طرطوس؛ لتمكننا من توفير نحو 1 مليار ليرة سورية يدفعها المزارعون لشراء المحروقات في كل عام . لذلك نرى أن لا مانع من تشجيع المزارع وإقناعهم بضرورة وأهمية التحول لاستخدام الطاقات المتجددة، من خلال إيجاد طريقة أو آلية ما لدعم وتشجيع المزارع تتضمن إقراض أو منح المزارع قيمة التكاليف الثابتة لتجهيزات الطاقة المتجددة على غرار الآلية المتبعة في مشروع التحول للري الحديث .

5- الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- لوحظ على أرض الواقع اعتماد أغلب المزارعين في الجمهورية العربية السورية على المضخات العاملة بالديزل أو المولدات الكهربائية التي تعتمد على الديزل في توليد الطاقة الكهربائية للضخ من الآبار، ويتكبدون جراء ذلك تكاليفاً كبيرة في عملية ضخ المياه، مما ينعكس بشكل واضح على مجمل تكاليف الإنتاج الزراعي، وبالتالي على أسعار المنتجات الزراعية بالنسبة إلى المستهلك النهائي.
 - 2- إن توليد الطاقة الكهربائية باستخدام طاقة الرياح لتشغيل المضخات العاملة على الآبار بكافة أعماقها؛ تعدّ ذات جدوى اقتصادية كبيرة مقارنة بالطاقة التقليدية.
 - 3- استخدام العنفة في شحن البطارية وربط المضخة على البطارية هو نظام أكثر استقرار لعمل محرك المضخة وذات فعالية واقتصادية أكثر من الوصل المباشر للمضخة مع العنفة
 - 4- توليد الطاقة الكهربائية باستخدام طاقة الرياح لتشغيل المضخات العاملة على الآبار بكافة أعماقها؛ تعدّ ذات جدوى اقتصادية كبيرة مقارنة بالطاقة التقليدية.
 - 5- إن استخدام الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في توليد الطاقة الكهربائية يمكننا من الاستثمار في المناطق النائية والأرياف مدة تصل إلى نحو 30 سنة بسبب العمر الطويل للمنظومة، وتكاليف صيانة منخفضة.
 - 6- إن منظومة الطاقات المتجددة تعتمد على تخزين المياه في خزانات إضافية عوضاً عن إضافة المدخرات الكهربائية (الغالية الثمن)، حيث يتم تركيب خزان مرتفع للمياه مع المنظومة للاستفادة من المياه المخزنة في الأوقات التي ينعدم فيها السطوح الشمسي أو تنعدم فيها الرياح، وذلك تقليلاً للتكاليف.
 - 7- إن تكاليف تأسيس منظومة طاقة الرياح للضخ من الآبار على مستوى المزارع كبيرة عند الإنشاء، وتكاد تكون تكاليف التشغيل السنوية على مدى عمر المشروع معدومة، وبالتالي تتحقق الجدوى الاقتصادية من خلال الاستخدام على المدى البعيد، مقارنة بالمنظومات المعتمدة على الوقود الأحفوري المرتفع الثمن.
- يوصى بما يلي:

د.خضوع

1-التشجيع على استخدام الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في الضخ من الآبار بكافة أعماقها على مستوى المزارع وخاصة في المناطق النائية لتقليل تكاليف الإنتاج الزراعي وانعكاساتها على الفلاح والمنتج والمستهلك، والاقتصاد الوطني.

2-إعفاء تجهيزات الطاقات المتجددة ومعداتها ومستلزماتها من الضرائب والرسوم (للمصنعين المحليين والمستوردين).

3-إطلاق مشروع وطني يهدف إلى الحد من استخدام الوقود الأحفوري في الضخ من الآبار وتحويل الزراعة تدريجياً للعمل بالطاقات المتجددة، من خلال دعم الفلاحين الذين يريدون التحول نحو استخدام الطاقات المتجددة، عن طريق تقديم القروض الميسرة لهم من قبل الدولة (قروض طويلة الأجل وبفوائد منخفضة أو معدومة)، بالاستئناس بالأساليب والآليات المعتمدة سابقاً لدى وزارة الكهرباء في مشروع صندوق دعم السخان الشمسي، أو بالآلية المتبعة لدى وزارة الزراعة من خلال صندوق التحول للري الحديث التي تم عرضها في متن هذه الدراسة.

4-تشجيع البحوث العلمية في مجال استخدام الطاقات المتجددة.

5-إقامة ورشات عمل ومؤتمرات علمية حول موضوع استخدام الطاقات المتجددة في القطاع الزراعي.

6-المراجع:

[1].د.داوود, صلاح.د.سليمان,عهد.م.حمودي,ناجي.دراسة وتنفيد وتحسين أداء محطة ضخ مياه تعمل بالطاقة الشمسية. 101،2009.

[2].م.يوسف, محمد(2013).دراسة نموذجية لضخ المياه باستخدام الطاقة الشمسية لمزرعة في ريف طرطوس .سورية,جامعة تشرين.

[3] Lemmer, Edward(2009).(*Wind-Electric Pump System Design*). Stellen bosch University.

[4] J.F. Manwell; J.G.McGowan; A.L.Rogers(2002).(*Aerodynamics of Wind Turbines*). John Wiley & Sons Ltd.

[5] Curti M.R;Forchetti D.G ;GarciaG.O (2011).(*Wind-Electric Pumping System, Modeling and Sizing*). Argentina: Rio Cuarto University .

[6] Er. P.D.Narale ; DR. N.S.Rathore (2013).(*Study of Solar PV Water Pumping System for Irrigation of Horticulture Crops*).India: Maharana Pratap University.

[7] Bossyns, Marie (2013).(*Appropriate Renewable Energy for Water Pumping in Rural Mozambique*). Mozambique: Faculty of Bioscience Engineering.