

## تصميم وتنفيذ عنفة ريحية صغيرة الاستطاعة

علي خضور \*

سامر ربيع \*\*

(تاريخ الإيداع ٣ / ١٢ / ٢٠١٩ . قبل للنشر ٢٣ / ٢ / ٢٠٢٠)

### الملخص

في الجمهورية العربية السورية يتوفر العديد من المواقع الواعدة مثل سهل الغاب ومناطق شرق وغرب مدينة حمص ومرتفعات الجولان والقنيطرة، اذ تتوفر فيها سرعات رياح يمكن استثمارها لأغراض تجارية. أما معدل سرعة الرياح في المناطق النائية فهي بحدود 5m/s وهي بالحقيقة متدنية نسبياً. ولسوء الحظ فإن الكثير من شركات تصنيع العنفات الريحية، لا تدخل في حساباتها سرعة الرياح المنخفضة في التصميم الأساسي للعنفات الريحية، حيث تكون سرعة الرياح التي يمكن ان تقلع عندها العنفة بحدود 5m/s والسرعة التصميمية بحدود 12m/s وهي سرعات كبيرة لا تبلغها الرياح في المنطقة إلا ساعات قليلة جدا خلال العام. ويعد متوسط سرعة الرياح 5m/s متدنية من حيث محتويات من الطاقة مقارنة بمتوسط سرعة 8m/s ولذلك لم تبذل جهود ملموسة لتطوير صناعة عنفات الرياح الصغيرة للسرعات المنخفضة.

إن الهدف العام من تصميم عنفة رياح مثالية هو إمكانية إنتاج عنفة ريحية تتمكن من استخلاص أكبر كمية من الطاقة بأقل كلفة إجمالية للمنظومة، حيث يكون الهدف هذه المرة هو إمكانية عمل عنفة ضمن شروط سرعة الرياح المنخفضة وبذلك سيواجه التصميم . تحديات أكبر تتمثل بانخفاض الأداء عند سرعة الرياح المنخفضة إضافة إلى مشكلة الإقلاع،

فقد تمت دراسة أداء العنفة عملياً من خلال التحكم بقيم معظم البارامترات المؤثرة، ومن أهم هذه العوامل : -  
1 عدد الريش، 2-قساوة الدوار، 3-زاوية ميل الريشة، 4-نسبة سرعة الطرف.  
الكلمات المفتاحية : العنفات الريحية صغيرة الاستطاعة، سرعة الرياح، الريش، تصميم وتنفيذ، معامل الخشونة

\*أستاذ مساعد في قسم تقانات الطاقات المتجددة كلية الهندسة التقنية جامعة طرطوس  
\*\*أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة البعث.

## Design And Implement Small-power Wind Turbine

Ali khaddour\*

Samer Rabee\*\*

(Received 3 / 12 / 2019 . Accepted 23 / 2 / 2020 )

### Abstract

In the Syrian Arab Republic, there are many promising sites such as the Ghab plain, the areas east and west of the city of Homs, the Golan Heights and Quneitra, where wind speeds can be invested for commercial purposes. The average wind speed in remote areas is about 5m/s and is in fact relatively low. Unfortunately, many wind turbine manufacturers do not take into account the low wind speed in the basic design of wind turbines. Only very few hours during the year. The average wind speed of 5m/s is low in terms of energy content compared to the average speed of 8m / s and therefore no concrete efforts have been made to develop the small wind turbine industry at low speeds.

The overall goal of designing an ideal wind turbine is to produce wind turbines that can extract the maximum amount of energy at the lowest total cost of the system. This time, the aim is to make the turbine work at low wind speed conditions and thus face design - greater limitations of reduced performance at Low winds add to the starting problem, Turbine performance has been studied in practice by controlling the values of most of the influencing parameters.

**Keywords:** small wind turbines, wind speed, feathers, design and implementation, roughness coefficient

---

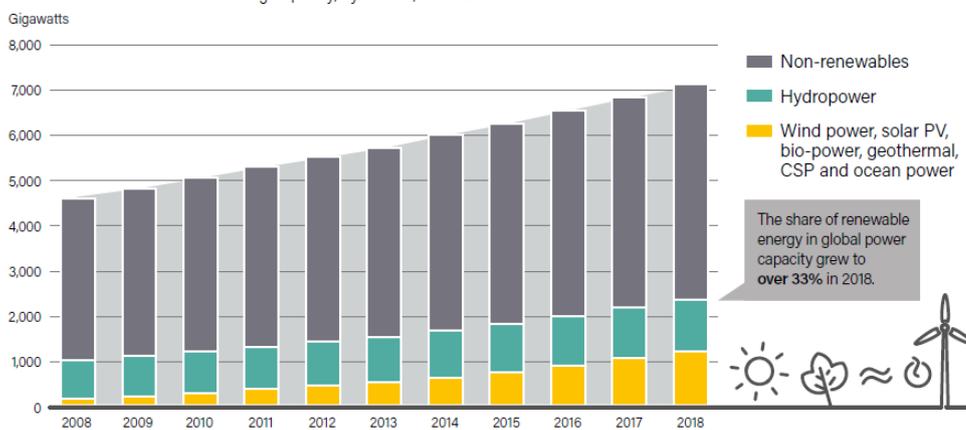
\* Associate Professor. Technologies of renewed energies , Technical Engineering, Tartus university.

\*\* Associate Professor. Energy engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Al-Baath university .

## مقدمة

الطاقة هي أحد المقومات الرئيسية للمجتمعات، وتحتاج إليها في جميع مناحي الحياة لتسيير الحياة اليومية. إن الواقع الحالي لأنواع الطاقات المستخدمة بمختلف أنواعها يتمثل بشكل رئيسي في مصادر الوقود الأحفوري. في السنوات الأخيرة أصبح هناك تطلع واسع ويقظة لاستخدام تكنولوجيا الطاقة المتجددة في مجال توليد الطاقة الكهربائية، ويتم بذل الجهود لتقليل استهلاك الوقود الأحفوري كوقود لإنتاج الطاقة الكهربائية. حيث تم إدخال طرق توليد الطاقة النظيفة حيز التطبيق وبخاصة طاقة الرياح بشكل واسع. وأكد المؤتمر المنعقد في تشرين الثاني ٢٠٠٣ على أهمية الحفاظ على البيئة التي تتعرض إلى كارثة تهدد مستقبل الحياة على سطح الأرض، كما أكد هذا المؤتمر على استنباط طرق جديدة في استغلال الطاقات المتجددة وتقليل الانبعاث وبخاصة غاز ثاني أكسيد الكربون.

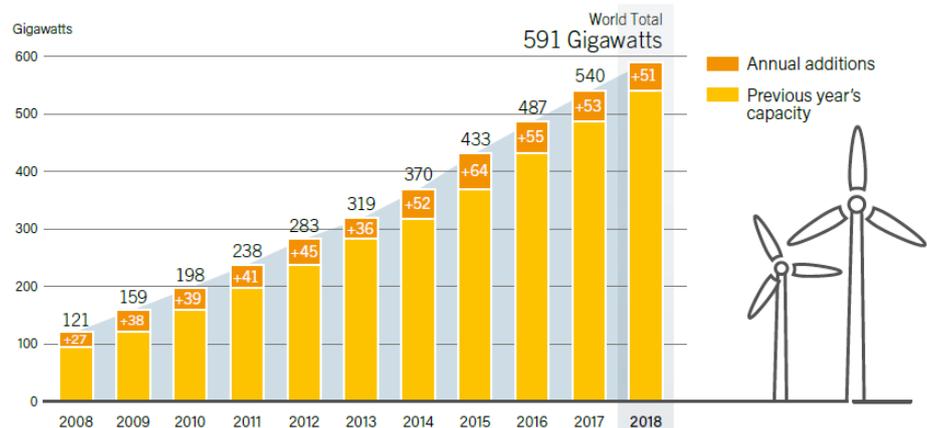
اتجهت أنظار العالم مؤخراً إلى استخدام الطاقات المتجددة بكافة أنواعها الريحية والشمسية والكتلة الحية والجوفية حسب توفرها في كل منطقة. تشير المراجع إلى أن طاقة الرياح قد استغلت منذ فترة بعيدة ولكن النهضة الحقيقية المؤثرة كانت بعد عام ١٩٧٢ .



الشكل ١: تباين الطاقة الكهربائية المولدة من عدة مصادر أحفورية، هيدروليكية، متجددة.

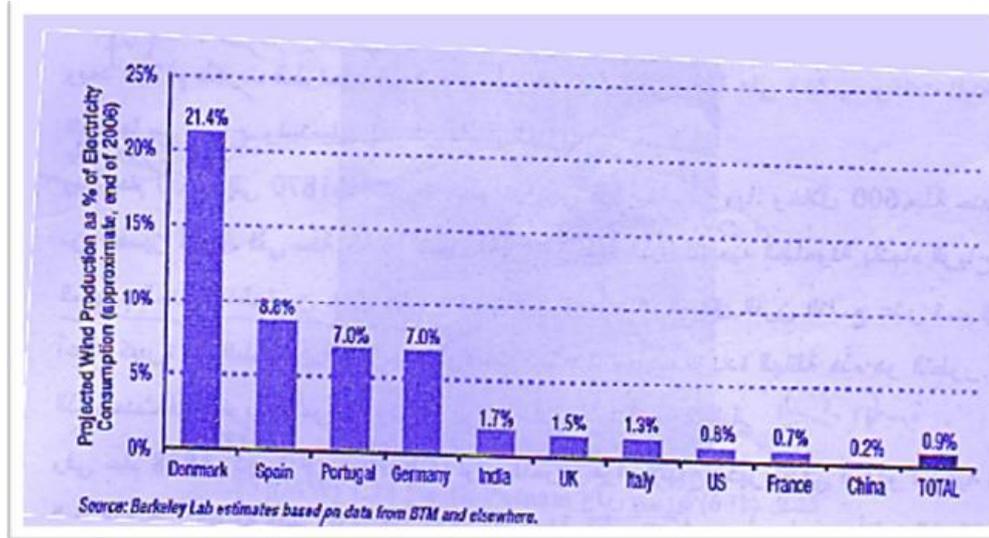
يبين الشكل (١): تباين الطاقة الكهربائية المولدة من عدة مصادر أحفورية، هيدروليكية، متجددة فنلاحظ زيادة التوليد بالاعتماد على مصادر الطاقات المتجددة ما بين عامي ٢٠٠٨ و ٢٠١٨ حيث وصل لأكثر من ١٠٠٠ جيجا واط.

بينما يبين الشكل (٢) كمية الطاقة الكهربائية المولدة من مصادر الطاقة الريحية ما بين عامي ٢٠٠٨ و ٢٠١٨ حيث وصلت إلى قيمة ٥٩١ جيجا واط في عام ٢٠١٨ وهذا يؤكد أهمية الطاقات المتجددة وضرورة استغلاله لتوليد الكهرباء من جهة ومن جهة أخرى المحافظة على البيئة وتقليل الانبعاثات البيئية.



الشكل ٢: كمية الطاقة الكهربائية المولدة من مصادر الطاقة الريحية ما بين عامي ٢٠٠٨ و ٢٠١٨.

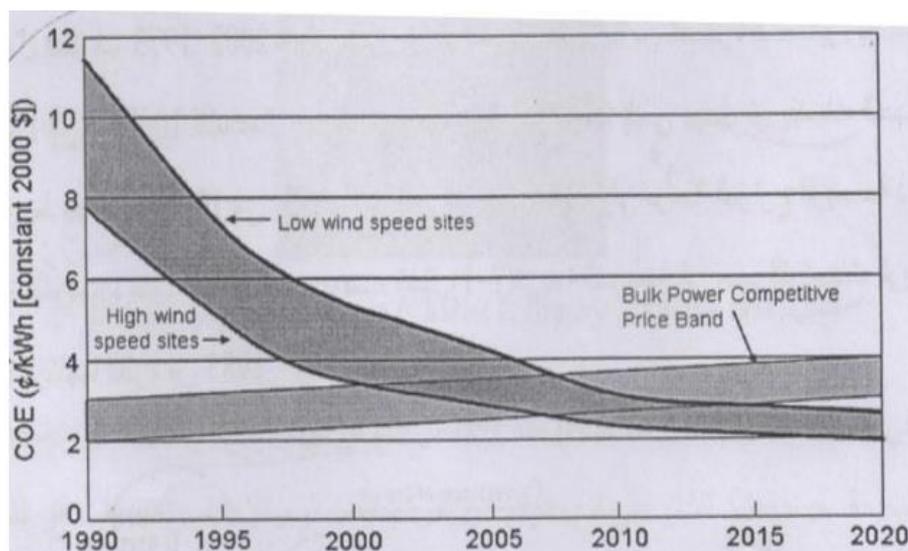
إن عدداً محدوداً من الدول المتقدمة قد حققت نسبة مئوية لا بأس بها من حاجتها الكلية للطاقة الكهربائية باستثمار طاقة الرياح. حيث كما موضح بالشكل ٣ فإن الدنمارك تحتل المرتبة الأولى باستغلال طاقة الرياح كنسبة من الإنتاج الكلي من الطاقة الكهربائية.



الشكل ٣: طاقة الرياح كنسبة من الإنتاج الكلي من الطاقة الكهربائية.

### واقع طاقة الرياح ومستقبلها

إن انتشار توربين الرياح كمصدر للطاقة في المستقبل يعتمد على عدة عوامل منها اقتصادية، سياسية، بيئية، اجتماعية، وتقنية. التحدي الأكثر أهمية هو سعر وحدة الطاقة المنتجة بتوربين الرياح مقارنة بأسعار الطاقة بطرق توليد أخرى. إن كلفة إنتاج الطاقة من توربينات الرياح قد انخفضت خلال السنوات الماضية حيث انخفضت كلفة الطاقة الكهربائية المنتجة من قوة الرياح الساحلية من 38 إلى 23 سنتاً أمريكياً لكل  $kWh$  بسبب توافر الرياح ذات الاستطاعات العالية. كما أدى توافر التقنية الحديثة في الإنتاج إلى هبوط كلفة بناء العنفة، حيث تشمل كلفة بناء التوربين حوالي 70% من كلفة وحدة الطاقة  $kWh$  ويعتمد سعر وحدة الطاقة على عامل مهم آخر هو حجم طاقة الرياح. الشكل ٤ يوضح تكلفة إنتاج وحدة الطاقة الكهربائية كتابع لسرعة الرياح.



الشكل ٤ : مقارنة تكلفة إنتاج وحدة الطاقة الكهربائية وعلاقتها بسرعة الرياح.

تشير الدراسات إلى أن الطلب العالمي المتوقع على الكهرباء بمعدل نمو سنوي وسطي يبلغ 3% حتى عام ٢٠٢٠ وهذا يعني أن مفتاح نجاح تطور طاقة الرياح يعتمد على إمكانية خفض سعر وحدة طاقة الرياح  $kWh$  عن طريق استخدام التقنيات الحديثة وتخفيض تكاليف الإنشاء مع اكتشاف مناطق الهواء والتي يمكن أن يُجنى منها استطاعة عالية.

### تصنيف التوربينات الريحية

بسبب التنوع الكبير في أشكال توربينات الرياح يمكن تصنيفها إلى عدة أنواع وفق اعتبارات مختلفة:

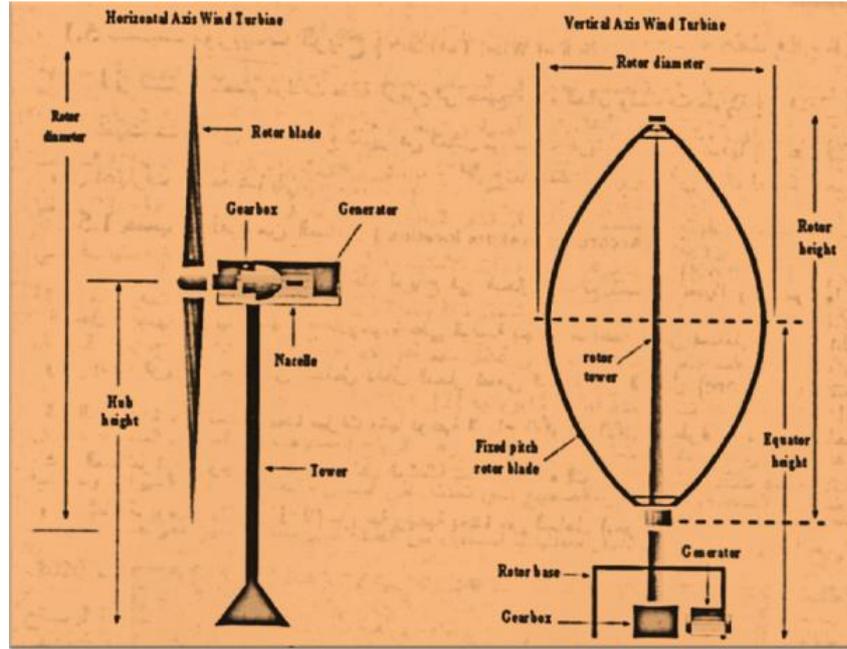
A. حسب موقعها من الساحل : بسبب الانتشار الواسع لتوربينات الرياح في البحار فقد تم تقسيمها حديثاً وفق موقعها من الساحل حيث تسمى على الساحل (اليابسة) Onshore أم التوربينات البعيدة عن الساحل داخل البحار والمحيطات فتسمى Offshore. المواقع البعيدة عن الساحل تتميز برياح أقوى وأقل اضطراباً وتوفر المساحات الكبيرة. لكن هناك العديد من الصعوبات كبناء التوربين وتشييته، وكذلك عمليات الإدامة ونقل الطاقة.

B. حسب اتجاه محور الدوران: يمكن تقسيم توربينات الرياح حسب اتجاه محور الدوران إلى نوعين :

- توربينات الرياح ذات المحور الأفقي HAWT وهي الأكثر انتشاراً وكفاءة. هو التوربين الذي يكون محور دورانه موازياً لسطح الأرض وهو أكثر انتشاراً ويتميز بأداء مرتفع ويمكن تقسيمه لعدة أنواع تبعاً لاتجاه الرياح، تبعاً لعدد ريش الدوار، وفقاً لحجم توربين الرياح.

- توربينات الرياح ذات المحور العمودي VAWT يكون محور الدوران عامودياً على سطح الأرض ويمكنه التعامل مع الرياح في جميع الاتجاهات دون الحاجة إلى توجيه الجزء الدوار عند تغير اتجاه الرياح. ويتصف بسهولة إنشائه وصيانته لأن معظم أجزائه قريبة من الأرض. لكن كفاءة هذا النوع من التوربينات منخفضة لتعامله مع الرياح القريبة من سطح الأرض

يبين الشكل ٥ عدة تصاميم لكلا النوعين، حيث لكل نوع ميزات إيجابية وسلبية .



الشكل ٥ :مقارنة بين العنفات الريحية HAWT و VAWT.

### تأثير التضاريس على خصائص الرياح

تتأثر الرياح بشكل كبير بالعوائق التي تقع في طريقها ويمتد هذا التأثير حتى ثلاثة أضعاف ارتفاع العائق بالاتجاه العمودي من 30 إلى 40 ضعفاً من ارتفاع العائق باتجاه الريح خلف العائق. إن جميع العوائق على سطح الأرض التي تسبب إعاقة للرياح قرب سطح الأرض تسمى بخشونة السطح كما النباتات والأشجار والأبنية تؤثر على خشونة سطح الأرض حيث يمكن اعتبارها من التضاريس المؤثرة على الأداء.

أما التضاريس الطبيعية كسلاسل الجبال والهضاب والمنحدرات فلها تأثير أكبر فقرب قمة هذه التضاريس تتسارع الرياح بينما تتباطأ قرب سفوحها وبالتالي من أجل تحديد الموقع الملائم لبناء توربين الرياح فإن هناك ثلاثة تأثيرات رئيسية على سرعة الرياح ناتجة من السمات السطحية للأرض وهي : تأثير العوائق، تأثير الخشونة، تأثير تضاريس الأرض.

إن سطح الأرض يحوي الكثير من عناصر الخشونة، ويمكن تقسيم الخشونة على سطح الأرض إلى عدة أنواع:

✓ **معامل الخشونة** : يُعرف بأنه الارتفاع  $Z_0$  عن سطح الأرض والتي تصبح سرعة الرياح

عندها تساوي الصفر ويمكن حساب الخشونة من خلال العلاقة الرياضية التالية

$class = 1.699823015 + \frac{\ln(length)}{\ln(150)}$	١
--	---

✓ درجة الخشونة حسب نوع التضاريس ويبين الجدول التالي بعض القيم لدرجة الخشونة تبعاً

لنوع التضاريس.

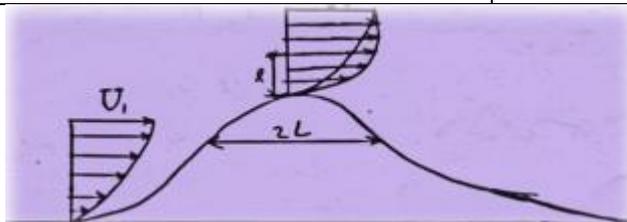
الجدول ١: قيم درجة الخشونة تبعاً لنوع التضاريس.

درجة الخشونة	ارتفاع سكون الرياح [m]	توصيف السطح
0	0.0003	سطح البحر مفتوح وهادئ
1	0.03	أرض مستوية خالية من أي صدمات
2	0.1	أرض مفتوحة فيها القليل من النباتات القصيرة
3	0.4	منطقة مفتوحة ذات أشجار كثيفة
3.5	0.8	منطقة شديدة التموج فيها أشجار مرتفعة
4	1.5	منطقة مغلقة غابة أو ضواحي المدن
4.5	2	قلب المدينة

### ١- تأثير التضاريس على سرعة الرياح

عند اجتياز الرياح لتضاريس مختلفة، فعند اجتياز قمة هضبة ، فغن سرعة الرياح ستزداد عند القمة وقد تصل إلى 80% من سرعة الرياح الطبيعية بينما تقل السرعة في الجانب الآخر من الهضبة بحدود % (20-40). ويبين الشكل ٦ تغير سرعة الرياح قبل الهضبة  $V_1$  وعند القمة  $V_2$ . ومعامل التغير النسبي لسرعة الرياح  $\Delta V$  يُعطى من العلاقة التالية :

$\Delta V = 2 \cdot \frac{V_2 - V_1}{V_1}$	٢
--	---



الشكل ٦: تغير سرعة الرياح قبل الهضبة  $V_1$  وعند القمة  $V_2$ .

### ٢- تأثير شكل الهضبة المثالي على سرعة الرياح

تحدث أعظم زيادة في سرعة الرياح عند الارتفاع  $L$  من قمة الهضبة كما هو مبين في الشكل ٦ بينما الطول المميز للهضبة  $2L$ . إن البروفيل اللوغاريتمي للسرعة مع الارتفاع يخضع لتغيرات مهمة عند مروره فوق القمة، وقد استطاع العالم Jensen etd من حساب علاقة معامل التغير النسبي لسرعة الرياح  $\Delta V$  بالارتفاع  $h$  حسب نسبة أبعاد الهضبة ومعامل خشونة السطح بالتالي يمكن الحصول الارتفاع  $l$  من قمة الهضبة

$\Delta V = 2 \cdot \frac{h}{L}$	٣
$l = 0.3Z_0 \left( \frac{L}{Z_0} \right)^{0.67}$	٤

وتطبق هذه المعادلة بصورة جيدة في حال كون طول الهضبة عامودي على اتجاه الرياح . حيث  $L$  طول

معامل (Monin-Obukhov) ويعتمد على التدفق الحراري عند سطح الأرض

$L = \frac{T_0 \cdot C_p}{k \cdot g \cdot q_0} \cdot V_0^2$	٥
---	---

حيث  $V_0$  سرعة الهواء الحر،  $T_0$  درجة الحرارة المطلقة،  $C_p$  السعة الحرارية للهواء عند الضغط الجوي،  $g$  قيمة تسارع الجاذبية الأرضية،  $q_0$  التدفق الحراري عند سطح الأرض.

### ٣- حساب الطاقة المتاحة

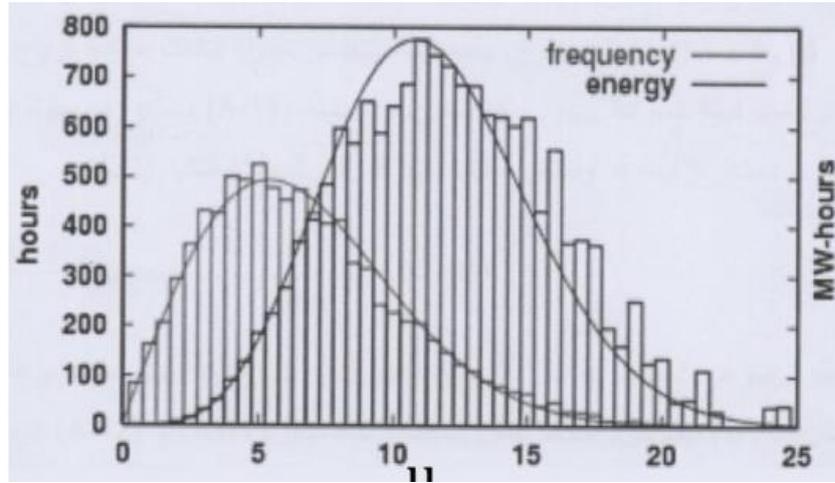
إن الطاقة التي يمتلكها التيار الريحي المار خلال مستحقة مقدارها  $A$  بشكل عامودي تساوي

$P_w = 0.5\rho AV^3$	٦
----------------------	---

ومتوسط الطاقة المتاحة في الرياح تكون

$\overline{P_w} = 0.5\rho A \sum_{i=1}^W P(V_i).V_i^3$	٧
--	---

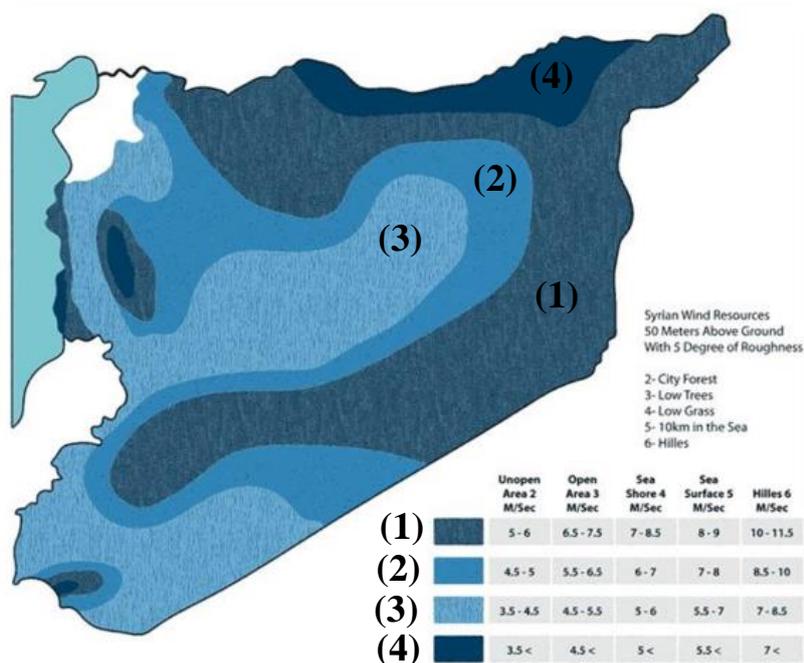
ويوضح الشكل ٧ علاقة توزيع الطاقة المتاحة مع سرعة الرياح .



الشكل ٧ : علاقة توزيع الطاقة المتاحة مع سرعة الرياح.

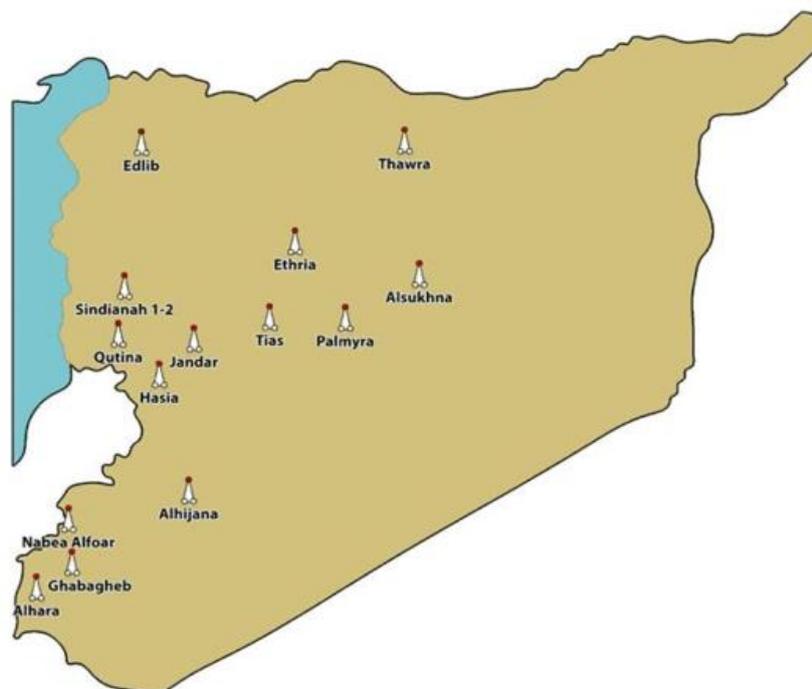
### ٤- موارد الرياح المتاحة

يوضح الشكل ٨ خارطة الموارد الريحية في الجمهورية العربية السورية وتبين أن بعض المواقع في سورية مثل المناطق القريبة من حمص ومرتفعات الجولان والقنيطرة وتتمتع بإمكانيات جيدة يمكن استثمارها لأغراض تجارية مع وجود بعض المواقع ذات مزايا طبوغرافية كالمناطق الساحلية أو المناطق المحصورة بين مرتفعين فتصبح كممرات هوائية ضمن منطقة هضبة مرتفعة يمكن أن تحسن من سرعة الرياح خارج المنطقة المحيطة.



الشكل ٨ : خارطة الموارد الريحية في سورية.

بينما يبين الشكل ٩ بعض المواقع في سورية التي تتوفر فيها الرياح بسرعة مناسبة يمكن استثمارها لتوليد الطاقة من الرياح كما يبين الجدول ٢ السرعة التصميمية لكل موقع



الشكل ٩ : بعض المواقع في سورية التي تتوفر فيها الرياح.

الجدول ٢ : بيانات بعض محطات الرصد في سورية والسرعة التصميمية لكل موقع.

المنطقة	متوسط سرعة الرياح $\bar{V}$ [m/s]	معامل الشكل $k$	معامل السعة $C$	السرعة التصميمية $V_{me}$ [m/s]	معدل الطاقة المتاحة $\bar{P}_w = W / m^2$ [W]
القنيطرة	6.2	1.89	7	10.3	308
الهيجانة	7	2	7.9	11.2	419
الحارة	7.7	2.66	8.7	10.7	441
أثريا	6.3	2.33	7.2	9.4	266
إدلب	6.4	1.76	7.2	11.1	370
كبابج	7.2	2.08	8.2	11.3	434
حسياء	5.3	1.42	5.9	11	283
قطينة	7.8	1.75	8.8	13.6	626
الثورة	6.1	2.42	6.9	8.9	227
حمص	8.17	2.6	9.2	11.4	512
السوكهنة	7.22	1.69	8.1	12.9	535
الخالدية	7.64	1.8	8.6	13	586
براق	5.5	1.81	6.2	9.4	218
ابو كمال	2.87	1.28	3.1	6.5	51

### ١- تكنولوجيا بناء العنفات الريحية الصغيرة

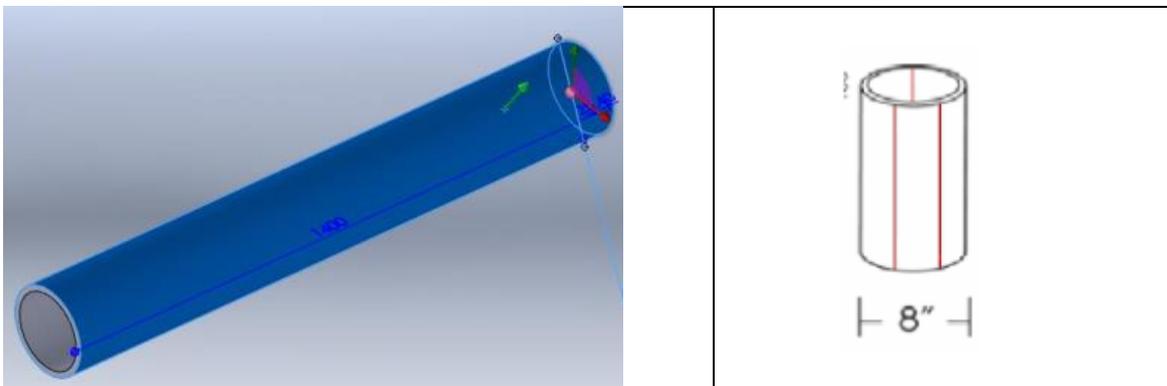
سنوضح في هذا البحث تصميم وتنفيذ عنفة ريحية ذات استطاعة صغيرة يمكن استخدامها لتغذية بعض التجهيزات البسيطة أو تخزين الطاقة الكهربائية المولدة في المدخرات.

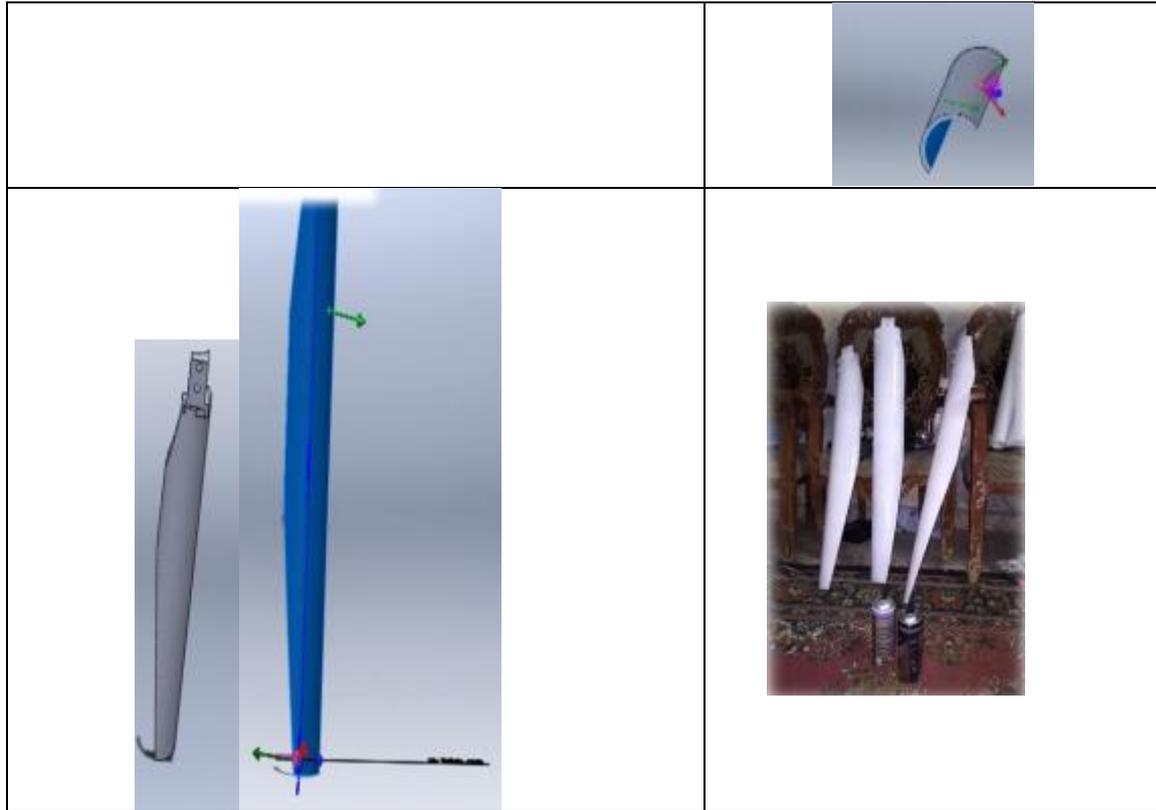
• المكونات الأساسية للعنفة المرادة تنفيذها :

١. ريش الدوار وعددها ثلاثة وهي مصنوعة من أنابيب بلاستيكية PVC حيث تم استخدام أنبوب

بلاستيكي بقطر 8 إنش وتم تقسيمها إلى ثلاثة أقسام طولية متساوية. وتمت الدراسة الأولية لبروفيل الشفرة

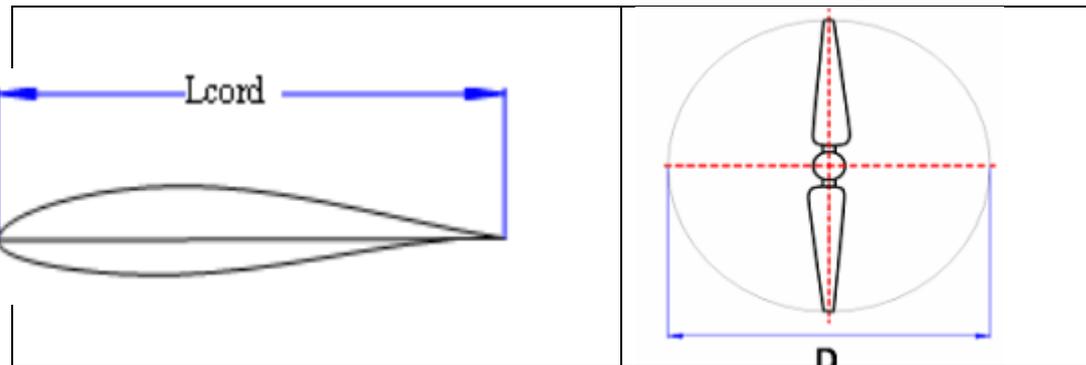
بالاعتماد على برنامج SolidWork كما هو مبين بالشكل ١٠





الشكل ١٠ : مراحل تصنيع الشفرة.

حيث تم تصميم الشفرة حيث بلغ طولها  $1[m]$  وكانت سرعة الرياح التصميمية  $V_{me} = 6[m/s]$ ، أما نسبة سرعة الطرف التصميمية هي  $\lambda_d = 5.89$ ، وعدد الريش هو  $N = 3$ . قطر دوار العنفة (الشكل ١١) هو  $D = 2[m/s]$ ، ومن خلال ذلك يمكن حساب معامل الرفع  $C_L = 0.8$ ، ومعامل الجر هو  $C_D = 0.01$ .



الشكل ١١ : قطر الدوار، وطول الوتر.

يتم إيجاد سرعة الدوران

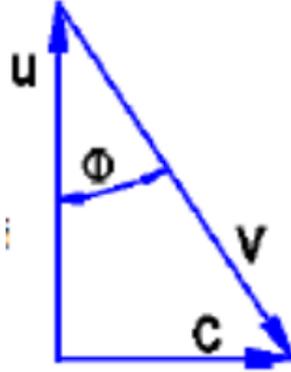
$$n = \frac{V_{me} \cdot \lambda_d}{2\pi R} \cdot 60 = \frac{5.89 \times 6}{2\pi \times 1} \times 60 = 337.472[r.p.m]$$

بالتالي يتم حساب طول الوتر وفق العلاقة التالية :

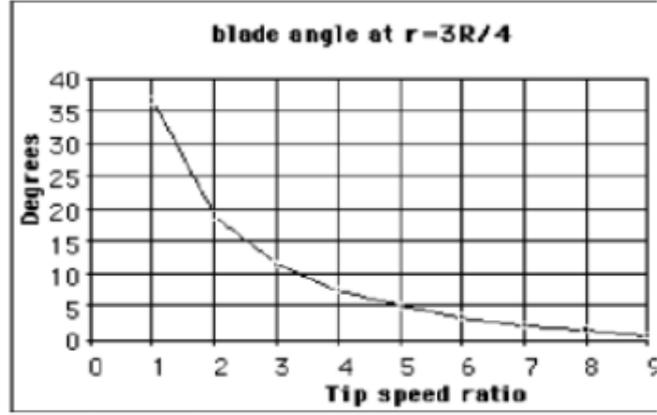
$$C = \frac{4.D}{\lambda_d^2 N} = \frac{4 \times 2}{(5.89)^2 \times 3} = 0.076[m]$$

يبين الشكل ١٢ العلاقة بين زاوية ميل الريشة مع نسبة سرعة الطرف، من هذا المخطط نجد زاوية فتل الريشة  $\theta = 8^\circ$ . حيث  $\theta$  زاوية فتل الريشة. هذا يساهم في حساب السرعة النسبية  $V_{rel}$  اعتماداً على زاوية الورد النسبية للرياح  $\phi$  من خلال مثلث السرعة الشكل ١٢:

$$V_{rel} = V_{me} \times \sin \phi = 1.653 [m/s]$$



مثلث السرعة.



الشكل ١٢ : العلاقة بين زاوية ميل الريشة مع نسبة سرعة الطرف-

واعتماداً على ما سبق يتم حساب قوة الرفع والجر :

$$L = 0.5 C_L \rho V_{rel}^2 \cdot A = 0.5 \times 0.8 \times 1.17 \times (1.653)^2 \times 3.141 = 4.016 [N] \text{ قوة الرفع}$$

$$D = 0.5 C_D \rho V_{rel}^2 \cdot A = 0.5 \times 0.01 \times 1.17 \times (1.653)^2 \times 3.141 = 0.050 [N] \text{ قوة الجر}$$

ويبين الشكل ١٣ الشكل النهائي للشفرات المعتمدة في التصميم .



الشكل ١٣ : الشكل النهائي للشفرات.

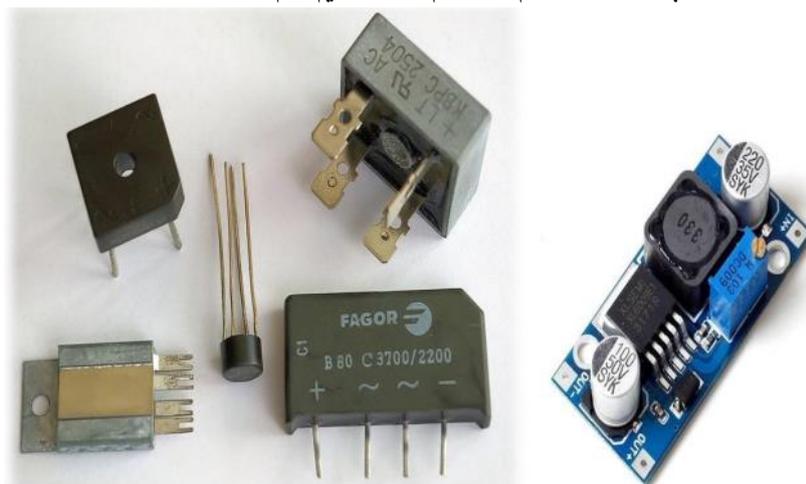
٢. المولد الكهربائي : جهاز يقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية. يوضح الشكل ١٤

المحرك المستخدم مع دائرة الانفرتر.



الشكل ١٤: المولد مع دائرة الانفرتر.

وليتم تخزين الطاقة الكهربائية المولدة يلزم استخدام دائرة التقييم وتم اعتماد الدارة المبينة بالشكل ١٥



الشكل ١٥: عناصر دائرة التقييم المستخدمة.

٣. البرج من النوع الأنبوبي وهو عبارة عن أنبوب معدني

٤. حامل الشفرات

٥. مدخرة لتخزين الطاقة الكهربائية

٦. علبة سرعة من النوع الكوكبي

٧. مقياس لسرعة الرياح ومقاييس لقياس التوتر والتيار

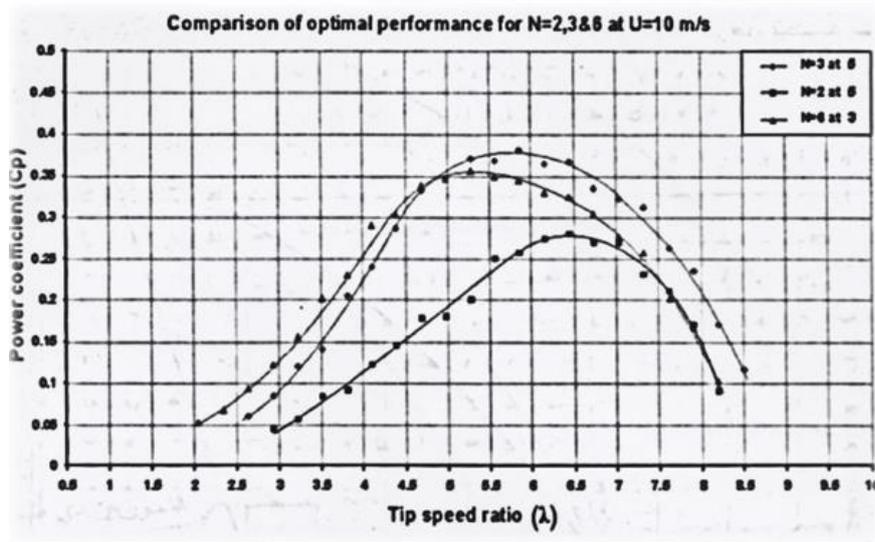
ويبين الشكل ١٦ شكل العنفة المدروسة ذات الريش الثلاث



الشكل ١٦: شكل العنفة المدروسة ذات الريش الثلاثة.

## ٢-الإجراء التجريبي

في هذا الاختبار تم تغيير عدد الريش لعدة حالات بحيث كانت في البداية  $N=2$  ، ومن  $N=3$  ،  $N=6$  . وذلك لإجراء المقارنة بين الحالات الثلاث. حيث يوضح الشكل ١٧ مقارنة لأداء التوربين أي علاقة معامل الطاقة  $C_p$  مع معامل نسبة سرعة الطرف  $\lambda$  للتوربين عند الحالات الثلاث.



الشكل ١٧ : مقارنة أفضل أداء للتوربين عند الحالات الثلاثة  $N = 2,3,6$  عند سرعة  $V_0 = 10[m/s]$  . تبين النتائج أنه عند سرعة الرياح  $V_0 = 10[m/s]$  إن أفضل أداء للتوربين عند عدد الريش  $N=3$  وقد حقق استخلاص طاقة ميكانيكية  $1350[W]$  عند سرعة دوران  $370rpm$  ، أما التوربين ذو الريش  $N=6$  فقد حقق

طاقة ميكانيكية مستخلصة  $1280[W]$  عند سرعة الدوران  $350rpm$ . أما التوربين عند الحالة  $N = 2$  تمكن من استخلاص طاقة ميكانيكية مستخلصة  $990[W]$  عند سرعة الدوران  $440rpm$ . فيتضح أن أداء التوربين بثلاث ريش يكون أفضل عند سرعة ريش  $10[m/s]$ . وقد حقق معامل طاقة قدرها  $40\%$ .

وتم إعادة الاختبار من أجل سرعات مختلفة وبين الجدول ٣ نتائج الاختبار للتوربين عند الحالات الثلاث .

الجدول ٣ : نتائج الاختبار.

$N = 6$	$N = 3$	$N = 2$	السرعة $V_0[m/s]$
$P[W]$	$P[W]$	$P[W]$	
١٢٨٠	١٣٥٠	٩٩٠	10
١٠٣٠	١٠٦٠	٦٨٠	9
٧٧٠	٧٤٠	٤٣٠	8
٥٥٠	٥٢٠	٣٢٠	7
٣٤٠	٣٠٠	٢٩٠	6
٢٠٠	١٨٠	-	5
٤٠	١٨	-	4
١٠	٠	-	3
-	-	-	2

حيث تبين النتائج فشل العنفة ذات الريشتين عن العمل عند السرعة  $4[m/s]$  . وعند السرعة  $3[m/s]$  لم يستطع التوربين ذو الريش الثلاث من الدوران الكافي لتوليد الطاقة الكهربائية.

### الاستنتاجات

- من خلال هذا البحث نشجع على الاستثمار ضمن مجال الطاقات المتجددة ولاسيما الريحية لتوليد الكهرباء وخاصة لتغذية الأحمال الصغيرة المنزلية بسبب رخص الأسعار .
- يمكن الاستفادة من الأنابيب البلاستيكية لتشكيل الشفرات، ويجب إجراء بعض المعالجات لتدوم فترة أطول.
- نتيجة الإجراء التجريبي تبين أن العنفة ذات الريش الست هي الأفضل عند سرعات تقل عن  $6[m/s]$  بينما العنفة ذات الريش الثلاث هي الأفضل من أجل السرعات الأعلى من  $6[m/s]$ .
- التأكيد على استغلال المواقع الجغرافية المناسبة لإنشاء المزارع الريحية .
- استخدام العنفات الريحية صغيرة الاستطاعة يشجع على الترشيد في استهلاك الطاقة الكهربائية وتقليل الطلب على الشبكة العامة.
- الاعتماد على الطاقات المتجددة يقلل من الانبعاثات الضارة بالبيئة.

## المراجع

- 1-United states department of wind energy, History of wind energy use. Internet online, 19 April 2000
- 2-Sarun Benjanirat; "*Computational studies of horizontal axis wind turbines in high wind speed condition using advanced turbulence models*", Doctoral thesis Georgia Institute of Technology. December 2006.
- 3-Wind Power Monthly. Wind energy facts and figures from Wind power Monthly. Internet online, 9 November 2004.  
<http://windpower-monthly.com/spis/runisa>
- 4-Jessica Swanson and Kenneth Visser; "*Improving the Efficiency of Small Wind turbines by Optimizing Blade Number and Solidity*" Department of Mechanical and Aeronautical Engineering, 2006
- 5-Mayer C and Bechly M .and Wood D. H; the starting behavior of a small horizontal – axis Wind turbine. Renewable Energy Vol.22pp.411-417.2001
- 6-Wood D. H; A blade element estimation of the cut – in wind speed a small wind turbine, Wind Engineering Vol.25.pp249-255.2001
- 7-Wind turbine design, Wikipedia the free encyclopedia. (July 2008)
- 8-Michael Pidwirny; Introduction to the Atmosphere Physical Geography university of British Columbia Okanagan ([Michael.pidwirny@ubc.ca](mailto:Michael.pidwirny@ubc.ca))
- 9-Lakshmi N. Sankar; Computational Studies of Horizontal Axis Wind Turbines: Report Submitted to the National Energy Laboratory. Prepared by Georgia Institute of Technology, June 28, 2001.
- 10-David Wood, "the Design and Analysis of Small Wind Turbines 1<sup>st</sup> edition of Notes 2002, School of Engineering /University of Newcastle NSW2308 Australia.
- 11-Baptiste Berges; "Development of Small Wind Turbines", Master thesis, of Department of Mechanical Engineering /Technical University of Denmark. 31 October 2007

١٢-أطلس الرياح في الجمهورية العربية السورية- المديرية العامة للإرصاد الجوية ١٩٩٨

١٣-د. نايف العبود، "كتاب الطاقات البديلة" منشورات جامعة البعث ٢٠١٥

١٤-د. هاشم ورقوزق، "كتاب اطاقه الرياح ٢" منشورات جامعة دمشق ٢٠١٦