

## تحسين أداء عمل العنفة الريحية في المنطقة الساحلية

د. أيوب عيسى حسن\*

(تاريخ الإيداع 2011 / 7 / 19. قُبِلَ للنشر في 2011 / 10 / 19)

### □ ملخص □

إن سرعة الرياح في فصل الصيف صغيرة في المنطقة الساحلية مما يعيق عمل العنفة الريحية، ويُعدُّ هذا السبب واحداً من الأسباب التي يؤخر التفكير في بناء المزارع الريحية في هذه المنطقة، إلا أننا إذا استطعنا تأمين السرعة الضرورية لعمل هذه العنفات، ومثل هذا الإجراء يكون ممكناً عن طريق التصميم الصحيح لبرج العنفة بهدف تسريع الهواء ضمن هذا البرج، فيمكننا عندئذٍ استخدام أكثر من عنفة ريحية في برج واحد، وبالتالي رفع كثافة إنتاج الطاقة الناتجة من واحدة المساحة، ولا سيما إذا تم استخدام العنفة الريحية ذات المحور الشاقولي مع بعض التعديلات.

**الكلمات المفتاحية:** طاقة الرياح، العنفة الريحية، الهواء الساخن، الطاقة الكهربائية.

\* أستاذ مساعد - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Improving the Effectiveness of Wind Turbine Performance on the Coast

Dr. Ayuob Hasan \*

(Received 19 / 7 / 2011. Accepted 19 / 10 / 2011)

### □ ABSTRACT □

In summer, the velocity of wind on the coast is low, so wind turbine cannot operate efficiently. This is one of the reasons that hampers building wind farms in this region. But, if we can ensure the required wind velocity- and this is possible by using the suitable design or the turbine tower- more than one wind turbine may be used in the same tower. So doing, this will increase turbine efficiency, especially if we vertical shaft wind turbines (with some modifications) are used.

**Keywords:** Wind Energy, Wind Turbine, Hot air, Electric Energy.

---

\* Associatet Professor, Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

إن دراسة واردات الرياح في القطر العربي السوري بشكل عام، وفي المنطقة الساحلية منه بشكل خاص، تظهر أن سرعة الرياح في معظم أيام السنة تقع ضمن المجال  $(1-5)m/s$  ،  $(3.6-25.9)km/h$  وفقاً لأطلس المناخ في محطتي المينا البيضاء وصافيتا، الأمر الذي يعيق العمل المستقر للعنفة الريحية في أكثر أيام الصيف، من هنا كانت الفكرة في البحث عن طريقة تؤمن التدفق اللازم من الهواء إلى برج العنفة الريحية وبالسعة الضرورية لعمل العنفة [ليست أقل من  $6m/s$ ] وذلك بالاعتماد على اتجاهين أساسيين، الأول يعتمد على التصميم الصحيح للبرج، وعلى تأمين سرعة رياح قريبة من السرعة التصميمية للعنفة عن طريق تسريع الرياح في البرج عبر مقطع، البرج متغير المقطع والثاني استخدام الطاقة الشمسية أو أي مصدر طاقي آخر في تسخين الهواء عند مدخل البرج، وسندرس في بحثنا الاتجاه الأول.

**أهمية البحث وأهدافه:**

للبحث أهميته انطلاقاً من الأهمية التي تعطى في الوقت الراهن لاستخدام الطاقات البديلة ومنها طاقة الرياح، لأنها طاقات نظيفة ودائمة، لا سيما إذا علمنا أن العديد من الدراسات تشير إلى أن الاستخدام الجائر لمصادر الطاقة الإحفورية، يعرضها للنفاذ خلال فترة غير طويلة. وباعتبار أن طاقة الرياح هي أحد اخص الطاقات البديلة والنظيفة بيئياً، والتي تعطي آمالاً واعدة ولا سيما في بعض المناطق من القطر العربي السوري كما يشير أطلس المناخ للقطر العربي السوري الشكل (1). [1]

لضمان استمرار عمل المحطة الريحية بشكل دائم ومستقر من الضروري الحفاظ على سرعة رياح عند حدود  $6m/s$  وأعلى، ومن أجل ضمان ذلك يمكن اللجوء إلى تأمين هذه السرعة بطريقة ما، وإحدى الطرق المقترحة هي تمرير الهواء عبر قناة متغيرة المقطع، بحيث يدخل الهواء البارد عند المقطع الكبير بسرعة طبيعية ومن ثم تزداد سرعته نتيجة لتغير مقطع البرج، كما يمكن زيادة سرعته عن طريق تسخينه عبر مبادل حراري مركب على المحيط الداخلي لمدخل البرج، يمكن أن يستمد هذا المبادل حرارته باستخدام مجمعات شمسية تركيب على الجدار الخارجي للبرج (القناة).

تجدر الإشارة هنا إلى إمكانية تركيب خلايا شمسية لتوليد الطاقة الكهربائية على الجدار الخارجي للبرج أيضاً وخاصة فيما إذا علمنا أن البرج يمكن أن يصل ارتفاعه لعدة عشرات من الأمتار، حيث يمكن الاستفادة من الطاقة المنتجة من هذه الخلايا في ردف الطاقة المنتجة من العنفة الريحية. كما ويمكن استخدام جزءاً منها في تشغيل مراوح لزيادة سرعة دخول الهواء إلى البرج أو في تسخين الجدران الداخلية للبرج، الأمر الذي يحفز الرياح إلى التحرك بسرعة نحو الأعلى.

**طرائق البحث ومواده:**

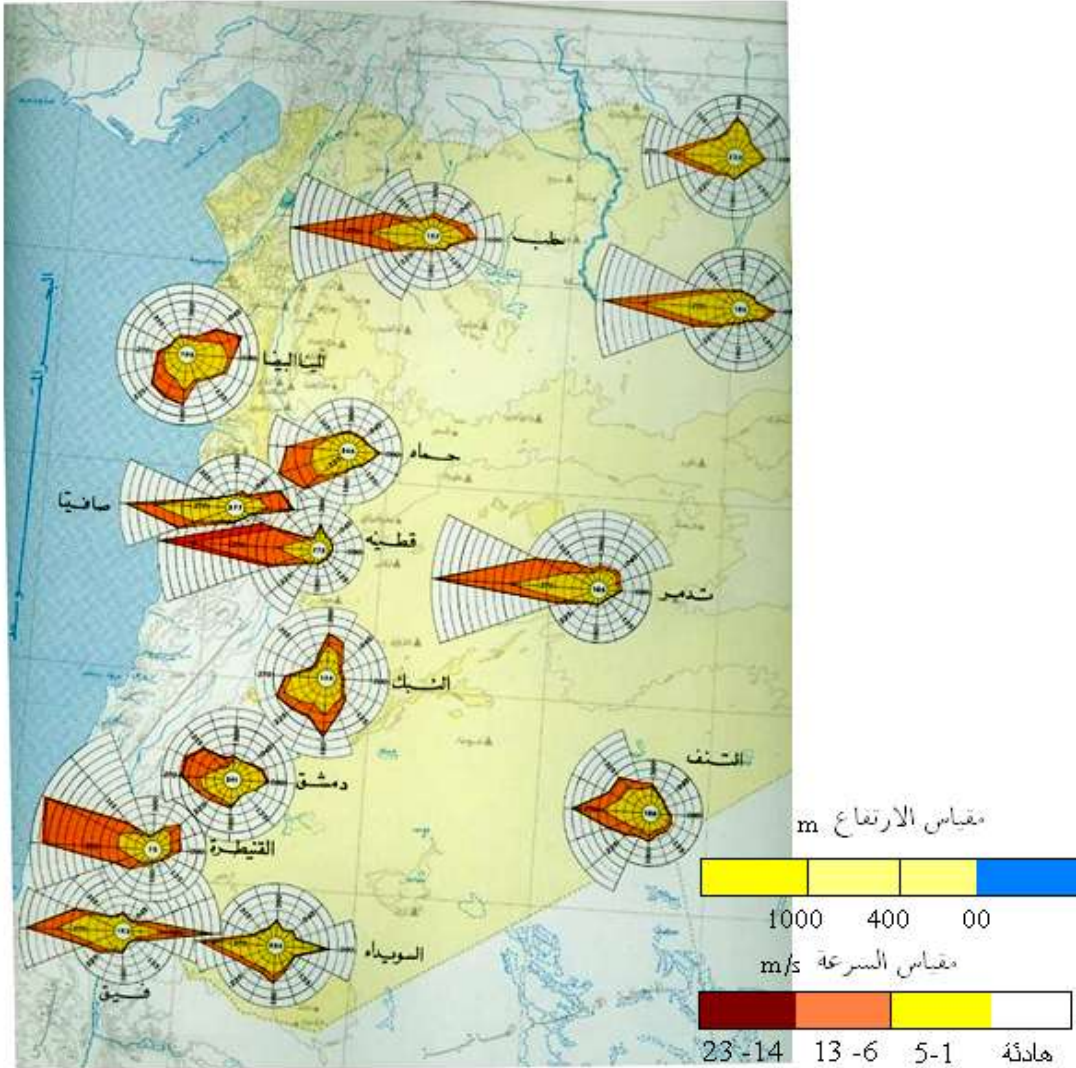
تعدُّ العنفات الريحية من النوع سافونيوس وداريوس نموذجين من العنفات ذات المحور الشاقولي والتي تستخدم لتحويل طاقة الرياح إلى عزم دوران على المحور الدوار، تم اختراع النوع الأول من قبل المهندس الفنلندي سافونيوس. س. ج. S. J. Savonius عام 1922.

تعدُّ عنفة سافونيوس واحدة من أبسط العنفات، فهي من الناحية الأيروديناميكية، تمثل أداة إعاقه، وتتألف من ريشتين أو ثلاث ريش، وبالنظر إلى الدوران من الأعلى، يمكننا رؤية الريشتين في المقطع العرضي للعنفة على شكل

حرف S الشكل (2). ويسبب التقوس تواجه الريش إعاقة أقل عندما تتحرك بعكس الرياح مقارنة بها عندما تتحرك باتجاه الرياح، ويعمل الفرق التفاضلي في الإعاقة إلى تسريع عنفة سافونيوس [2]. ونظراً إلى أن العنف الريحية من هذا النوع تمثل آلة تؤمن نوعاً من الإعاقة وذات حركة بطيئة، وتستجر أقل بكثير من طاقة الرياح مما تستجره الأنواع الأخرى من العنفات ذات المحور الأفقي، والتي تملك الحجم نفسه. لكن تكون معظم مناطق الدائر في عنفة سافونيوس قريبة من الأرض، مما يجعل الحصول على الطاقة بشكل عام أقل فعالية، وذلك بسبب انخفاض سرعة الرياح عند الارتفاعات المنخفضة. [1]، [2]

أما عنفة داريوس فهي أيضاً من أنواع العنفات ذات المحور الشاقولي وتستخدم لتوليد الطاقة الكهربائية من طاقة الرياح. تتألف العنفة من مجموعة من الريش التي تمثل سطوحاً انسيابية مركبة بشكل عمودي على محور أو هيكل دوار، سجل هذا التصميم للعنفة الريحية كبراءة اختراع من قبل مهندس الطيران الفرنسي جورجيس جين ماري داريوس Darius J.J. عام 1931.

في النسخة الأصلية لتصميم عنفة داريوس، يتم ترتيب الريش بشكل متماثل ومتناسق وبزاوية تدوير تساوي الصفر، وهي الزاوية التي تتصل بها الريش إلى الهيكل الذي يحملها.

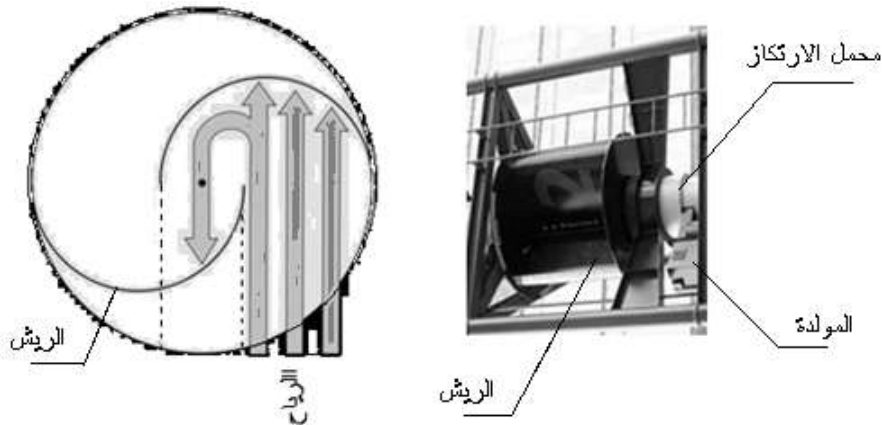


الشكل (1) توزيع المناطق الريحية على كامل مساحة القطر العربي السوري

يكون هذا الترتيب فعالاً في جميع الأحوال، حيث لا يتعلق عملها باتجاه هبوب الرياح، مقارنةً مع الأنواع التقليدية الأخرى، التي يجب أن تدار أو تتركب في مواجهة الرياح.

عندما تدور عنفة داربوس بسرعة فإن السطوح الانسيابية تتقدم إلى الأمام عبر الهواء بمسار دائري بالنسبة إلى الريش، وبالتالي تيارات الهواء المقترية هذه تضاف وبشكل موجّه إلى تيارات الهواء الأصلية، والتيارات الناتجة تخلق زاوية إيجابية صغيرة مختلفة عن زاوية الهجوم للريش، وهذا بدوره يولد قوة صافية متوازنة أمامية وغير مباشرة على طول خط العمل المحدد. هذه القوة يمكن تصورها كأجزاء داخلية تعبر محور العنفة بمسافة محددة لتعطي عزمًا إيجابياً للعمود، وبالتالي مساعدته على الدوران في الاتجاه الذي يدور فيه في هذه اللحظة. إن المبادئ الأيروديناميكية لتدوير الدائر تكافئ تلك التي في الطائرات المروحية، حيث يدور الدوار بمعدل سرعة غير مرتبط بسرعة الرياح، وفي معظم الأوقات يكون أسرع. يمكن أن تستخرج الطاقة الناشئة من العزم والسرعة وتحول إلى طاقة مفيدة باستخدام مولد كهربائي. إذاً ولضمان عمل العنفة الريحية من النوع ذات المحور الشاقولي بشكل مستمر ومستقر يجب تأمين تدفق للرياح (للحوائط) بشكل دائم ويسرعة أصغرية  $V_{min} \geq 6m/s$ .

ووفقاً للطريقة المقترحة للدراسة سنعمل على تأمين تركيب العنفة الريحية بحيث يكون محورها أفقياً في مركز البرج الذي نقترحه على شكل قناة متغيرة المقطع، كما ويمكن تأمين تسخين الهواء الداخل إلى هذا البرج، حيث سيتحرك الهواء نحو الأعلى مشكلاً طبقة حدية تكون في بدايتها على شكل طبقة حدية صفائحية ومن ثم تتطور حتى تبلغ قيماً يمكن أن تكون مضطربة وتكون سرعتها الأعظمية عند مركز البرج أو القناة.



الشكل (2) عنفة سافينوس وطريقة عملها

تتمثل هذه الدراسة في معالجة تأمين سرعة دائمة للهواء لضمان عمل مستقر للعنفة الريحية وحساب الأبعاد الملائمة للبرج المطلوب.

تعطى طاقة الرياح لمقطع عرضي عند الشروط النظامية ( $P = 1.013 \times 10^5 Pa, T = 15^\circ C$ ) بالعلاقة:

$$E_{air} = 0.5 \dot{m} w^2 \quad (W) \quad (1)$$

حيث  $E_{air}$  الطاقة المنتجة من مقطع عرضي مساحته  $F (m^2)$ ،  $\dot{m} = \rho F w (kg/s)$  التدفق الكتلي

للتيار الريحي،  $w (m/s)$  سرعة الرياح. [3]، [4]

أما الاستطاعة النوعية التي يمكن أن تحملها الرياح من واحدة المساحة المتعامدة مع اتجاه سرعة الرياح خلال واحدة الزمن فتعطى بالعلاقة:

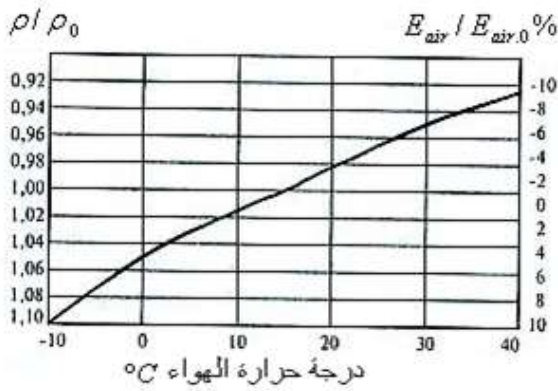
$$N_{air} = 0.5 \dot{m} w^2 = 0.5 \rho w^3 \quad (W/m^2) \quad (2)$$

وتكون الطاقة النوعية لتيار الهواء خلال فترة زمنية  $\tau$  مقدرة بالـ  $(W.h/m^2)$  معطاة بالعلاقة:

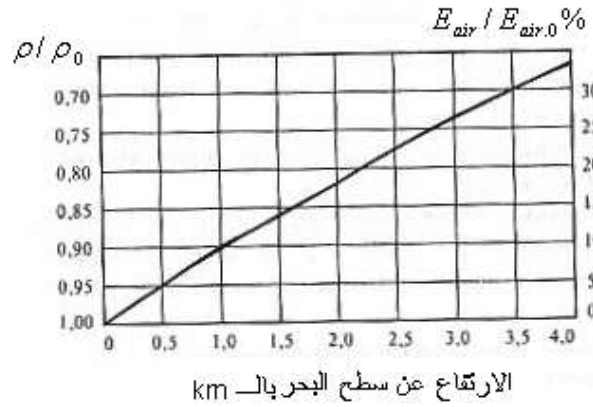
$$E_{air}(t) = \int_0^{\tau} N_{air}[w(\tau)dt] = 0.5 \int_0^{\tau} [w(\tau)]^3 dt \quad (3)$$

ترتبط الطاقة الحركية لتيار الهواء بكل من سرعة هذا التيار، ودرجة حرارته والضغط الجوي السائد. يبين الشكلين (3) و(4) ارتباط طاقة التيار الريحي بالضغط الجوي السائد ودرجة الحرارة السائدة أيضاً. [3] إن تغيرت درجة حرارة التيار الريحي من  $15^{\circ}C$  إلى  $0^{\circ}C$  فإن طاقة التيار تزداد بحدود 6%، ولكن عند ارتفاع درجة حرارته من  $15^{\circ}C$  إلى  $30^{\circ}C$  فإن طاقته تنقص بحدود 5%، ومن أجل درجة حرارة ثابتة عند  $0^{\circ}C$  وإن انخفض الضغط من  $1.013 \times 10^5 Pa$  إلى الضغط  $0.973 \times 10^5 Pa$  فإن طاقة التيار تنخفض بحدود 6%. تحسب الطاقة النوعية المتوسطة للأمواج الريحية لمنطقة ما مساحتها  $F (m^2)$  ومقدرة بوحدة الـ  $kW.h/m^2.year$ ، عندما تكون جميع جزئيات التيار ممزوجة بشكل جيد وعلى ارتفاع مقداره  $20H_b$ ، حيث  $(H_b)$  هو الارتفاع الذي تم عنده قياس الطاقة، بالعلاقة الآتية:

$$E_F^{waive}(\tau) = \frac{1}{20} E_{air}(\tau).F. \times 10^3 \quad kW.h/m^2.year \quad (4)$$



الشكل (4) تأثير درجة حرارة الهواء على طاقة الرياح



الشكل (3) تأثير ارتفاع المكان عن سطح البحر على طاقة الرياح

وفقاً لذلك تكون هذه الطاقة على مساحة الجمهورية العربية السورية بفرض أن السرعة المقترحة هي  $6m/s$ :

$$E_{Syria}^{Wind} = 999 \times 10^6 \frac{kW.h}{km^2.year}$$

طرق حساب الطاقة الاحتياطية للأمواج الريحية عند نقطة A من منطقة مساحتها F عند توفر حجم من المعلومات عندما تتوفر المعلومات الأولية (سرعة الرياح المتوسطة لفترة ليست أقل من عشر سنوات)، حيث يمكن العودة إلى أطلس المناخ للمنطقة المدروسة للحصول على مثل هذه المعلومات، وتكون المعلومات معطاة على شكل منحنيات لتكرار السرعة الساعية خلال هذه الفترة، وتعد سرعة الرياح المتوسطة هذه من أهم مواصفات الرياح. بمساعدة مثل هذه القيم يمكن تقويم الطاقة الريحية وإيجاد العوامل الأساسية التي تحدد مدى فعاليتها واستعمالها. ينصح مبدأ الإحصاء للحصول على السرعة المتوسطة المتكررة للرياح لفترة طويلة باستخدام العلاقة التالية:

[3]

$$\tau_i(\Delta w_i) = \frac{m_i}{n} \quad (5)$$

حيث  $\tau_i$ : معدل تكرار السرعة خلال الفترة الزمنية  $i$  التي يتحدد فيها تدرج السرعة  $\Delta w_i$ ، عدد مرات قياس السرعة خلال الفترة الزمنية  $i$ ،  $n$  العدد الكلي لمرات قياس السرعة خلال هذه الفترة. إن تدرج السرعة القياسي  $\Delta w_i = w_i^{\max} - w_i^{\min}$  يملك خمسة عشر مجالاً كما في الجدول (1) الذي يعرض بعضاً من هذه المجالات [3].

لا بد من الإشارة هنا إلى أن حدود تدرج السرعة النظامي يمثل السرعة الوسطية للرياح بين مجالي السرعة، فمثلاً في مجال التدرج (8-9) تعطي السرعة المتوسطة ضمن المجال  $7.5 < w_i \leq 9.5 \text{ m/s}$ ، إن طاقة التيار الريحي في نقطة ما A على سبيل المثال، تقع على المنحني التكراري لسرعة الرياح ومقدرة بالـ  $W \cdot h / \text{m}^2$  تعطى بالعلاقة الآتية:

$$E_w(T) = \frac{T}{2} \rho \sum_{i=1}^{n-3} w_i t_i (\Delta w_i) \quad W \cdot h / \text{m}^2 \quad (6)$$

حيث: T فترة الاستخدام بالساعة؛  $\bar{w}_i$  (m/s).h السرعة المتوسطة للمجال؛  $t_i(\Delta w_i)$  عدد مرات تكرار سرعة الرياح ضمن المجال  $(\Delta w_i)$ ؛ n عدد التدرجات.

الجدول (1) بعض مجالات تغير سرعة تيارات الرياح

IX	X	IIIIV	IIIV	IV	V	VI	III	II	I	المجال
>40	40-35	34-29	28-25	24-21	20-18	17-16	6-4	2-3	0-1	السرعة m/s

#### الدراسة الحسابية والتصميمية للنموذج المستخدم في الدراسة:

بههدف الحصول على سرعة رياح ملائمة لعمل العنفة الريحية بشكلٍ دائم، يكفي أن ندرس حالة فصل الصيف، الذي يُعدُّ في المنطقة الساحلية أقل الفصول رياحاً، حيث سنقوم بدراسة برج ريحي على شكل قناة متغيرة المقطع (فوهة) تكون عند المدخل وبالقرب من سطح الأرض مفرغة من كافة الاتجاهات ومركبة على أعمدة بيتونية فقط للسماح للهواء بالدخول، أو يتم تغطية مساحة محددة بجوارها وعلى ارتفاع أعلى من 6m بزجاج شفاف للسماح للإشعاع الشمسي بتسخين الهواء وتسريعه قبل دخوله إلى البرج، لن نتطرق في هذا البحث إلى الدراسة الإنشائية للبرج، حيث يمكن بناء نموذج تجريبي في المستقبل، وإنما سنولي الاهتمام هنا للدراسة الهيدروليكية والحرارية فقط، كما أن نوع الجدار والعزل الحراري لن نتطرق إليهما أيضاً.

سوف نوجد العلاقات الرياضية بين بارامترات الرياح وأبعاد البرج الريحي والشروط المناخية السائدة، انطلاقاً من القوانين العامة لجريان الموائع القابلة للانضغاط. والقوانين العامة لانتقال الحرارة.

#### حالة البرج متغير المقطع دون تسخين الهواء

يعطى قانون حفظ الكتلة (قانون الاستمرار) بالعلاقة:

$$\dot{m} = \rho_i F_i w_i = \text{const} \quad \text{kg/s} \quad (6)$$

تحتوي العلاقة (6) على ثلاثة متغيرات هي  $w_i$  السرعة، و  $F_i$  مساحة مقطع البرج و  $\rho_i$  كثافة الهواء عند المقطع المدروس، ونحتاج لمعادلتين إضافيتين لنتمكن من إيجاد جميع هذه المتغيرات.

فإذا أخذنا إضافة للمعادلة (6) كل من معادلة حفظ الطاقة (القانون الأول للترموديناميك) والمعادلة العامة للغازات المثالية تكون المعادلات الثلاثة محققة للغرض، حيث يكتب القانون الأول للترموديناميك بالشكل:

$$Q + \Delta L_m = \Delta h + \Delta K$$

$$Q + \int_1^2 v dP = (h_2 - h_1) + \frac{1}{2}(w_2^2 - w_1^2) \quad (7)$$

حيث  $Q$  (kJ) : كمية الحرارة المضافة أو المطروحة من الجملة.

$\Delta L_m$  (kJ) : العمل المحرك المنجز من الجملة.

$\Delta h$  (kJ) : تغير أنتالبي الجملة.

$\Delta k$  (kJ) : تغير الطاقة الحركية.

والمعادلة العامة للغازات المثالية:

$$P = \rho RT = const \quad (8)$$

إن في الحل المشترك للمعادلات (6) و (7) و (8) مع الشروط الأولية المتوفرة تتحدد المتغيرات الثلاثة عند أي مقطع من مقاطع القناة.

ففي الحالة الأولى سنعد الجريان دون تبادل حراري مع الوسط المحيط (أدياباتيًا)، وبالتالي نعتبر أن تغير الطاقة الحركية للرياح يتم على حساب تغير الأنتالبي حيث نعتبر أن العمل المحرك المقدم من التيار الريحي مهملاً أي:

$$Q + \int_1^2 v dP = 0 \Rightarrow$$

$$(h_i - h_{in}) + \frac{1}{2}(w_i^2 - w_{in}^2) = 0 \Rightarrow w_i = \sqrt{2(h_{in} - h_i) + w_{in}^2}$$

من أجل سرعة دخول دنيا  $w_{in}$  تكون سرعة الخروج معطاة بالعلاقة:

$$w_i = \sqrt{2 \times 10^3 (h_{in} - h_i) + w_{in}^2}$$

إذا اعتبرنا أن الجريان في القناة يحقق الشروط الأدياباتيية الكظيمة، وأن السعة الحرارية النوعية للهواء ثابتة ضمن

المجال المدروس يكون:

$$w_i = \sqrt{2 \times 10^3 C_p (T_{in} - T_i) + w_{in}^2}$$

وتعطى مساحة مقطع الخروج بالعلاقة:

$$F = \frac{\dot{m}}{\rho_{in} \left(\frac{P_i}{P_{in}}\right)^{\frac{1}{k}} \sqrt{V_{1n}^2 + \frac{2k}{k-1} \frac{P_i}{\rho_{1n}} \left[1 - \left(\frac{P_i}{P_{in}}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}}$$

وباعتبار أن سرعة خروج الرياح تكون من الفرضيات وبالتالي يكون المجهول الوحيد هنا هو الضغط  $P_i$  عند

المقطع  $i$  للقناة أو نسبة انخفاض الضغط  $\Delta = \left(\frac{P_i}{P_{in}}\right)$



بفرض قيمة محددة لسرعة حدية دنيا للرياح على مدخل القناة والتي سنفرضها مساوية لـ  $w_{in} = 1 \text{ m/s}$  ، وهذا يتفق والقيم الواردة للمنطقة المدروسة في الشكل (1). [1]  
 أما قطر مقطع الدخول فسندرسه عندما يتغير ضمن المجال (5-15)m ، كما نعتبر أن درجة ميلان البرج متغيرة ضمن المجال  $\varphi = (5-10)^\circ$  وسنفرض أن سرعة الرياح المطلوبة ستتغير ضمن المجال (6-10)m/s. وبناءً على ذلك سنوجد العلاقة التي تربط بين كل من سرعتي الدخول والخروج والضغط عند مقطعي الدخول والخروج. فمن العلاقة (6).

$$\dot{m} = \rho_{in} F_{in} w_{in} = \rho_{out} F_{out} w_{out} = const$$

ومن المعادلة العامة للغازات المثالية باعتبار أن الهواء ضمن المجال الحراري المدروس يمكن اعتباره محققاً لهذه المعادلة، وعند الشروط النظامية تكون درجة الحرارة  $T_{in} = 288K$  والضغط الجوي  $P_{in} = 1.013 \times 10^5 Pa$  فنكون كثافة الهواء عندها:

$$\rho_{in} = \frac{P_{in}}{RT_{in}} = 1.2269 \text{ kg/m}^3$$

ولكن لدينا:

$$P_{in} = \rho_{in} RT_{in}, P_i = \rho_i RT_i, P_{out} = \rho_{out} RT_{out}$$

وعليه تكون نسبة كثافة الرياح عند أي مقطع  $i$  من البرج إلى كثافتها عند المدخل معطاة بالعلاقة:

$$\frac{\rho_i}{\rho_{in}} = \frac{P_i T_{in}}{P_{in} T_i} \Rightarrow \rho_i = \rho_{in} \frac{P_i T_{in}}{P_{in} T_i} \quad (9)$$

وبالتالي يمكن الخلوص إلى العلاقة الآتية بين كثافة الرياح عند مدخل القناة وكثافتها عند أي مقطع آخر  $i$  عند اعتماد الشروط النظامية من الشكل:

$$\rho_i = \frac{P_i}{RT_i} = 0.00348 \frac{P_i}{T_i} \quad (10)$$

فمن أجل الشروط النظامية وبعد التعويض عن قيمة كل من  $\rho_{in}, \rho_i$  في المعادلة (6) ومن أجل قطر للبرج عند مقطع الدخول  $d_{in}$  نجد:

$$\dot{m} = \rho_{in} F_{in} . w_{in} = \frac{\pi}{4} d_i^2 \rho_i . w_i \quad (11)$$

بالتعويض عن  $\rho_i$  بقيمتها من العلاقة (9) ومن أجل مقطع خروج قطره  $d_{out} = 2m$  نجد:

$$w_{out} = \frac{4\dot{m}}{\pi \rho_{out} . d_{out}^2} = 35201.15 \frac{T_{out}}{P_{out}} \quad (12)$$

تعطى السرعة عند مقطع الخروج اعتماداً على المعادلة (7) بعد إهمال العمل المنجز من قبل التيار الريحي نتيجة لتغير قيمة الضغط فيه بالعلاقة: [6],[7], [8]

$$w_{out} = \sqrt{w_{in}^2 + \frac{2k}{k-1} \cdot \frac{P_{in}}{\rho_{in}} \left[ 1 - \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (13)$$

تظهر العلاقة (13) أن المجهول فيها هو نسبة التمدد  $\Delta = \left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right)$  فقط، ومن أجل الشروط المفروضة نجد

أن:

$$w_{out} = f(P_{in}, P_{out}) \quad (14)$$

ومن أجل سرعة خروج ضرورية لعمل العنفة الريحية يتم فرضها  $w_{out} \geq 6m/s$  يعطى الضغط على مخرج البرج بالعلاقة:

$$P_{out} = P_{in} \left[ 1 - \frac{k-1}{2k} (w_{out}^2 - w_{in}^2) \frac{\rho_{in}}{P_{in}} \right]^{3.5} \quad (15)$$

وتكون درجة حرارة الخروج:

$$T_{out} = T_{in} \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

ومن أجل الشروط النظامية:

$$T_{out} = 288 \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right)^{0.2856}$$

### النتائج والمناقشة:

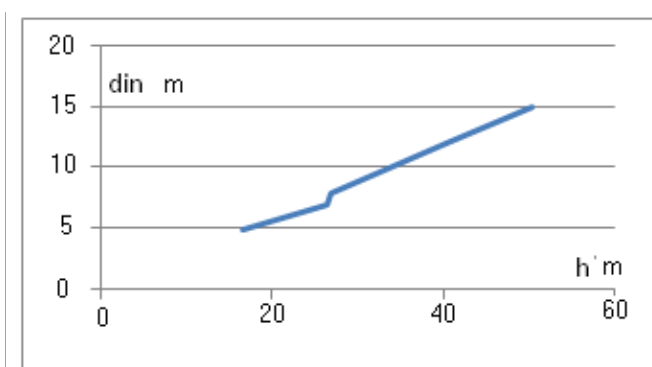
إن الحل المشترك للمعادلتين (13) و(15) عن طريق وضع برنامج حاسوبي أو إعطاء قيم لسرعة الرياح عند مخرج البرج أو عند أي مقطع منه بدلالة متغيرات الرياح عند المدخل من درجة الحرارة وسرعة وضغط وغيرها، نحصل على قيم كافة المتغيرات الموافقة عند مخرج القناة والجدول (3) يظهر مختلف المتغيرات للرياح عند مدخل البرج الريحي ومخرجه كتابع لسرعة الرياح عند المدخل ولزاوية ميل للبرج  $\varphi = 10^\circ$ .

ويظهر الشكل (5) تغير ارتفاع البرج كتابع لقطر الدخول من أجل سرعة دخول ثابتة (1m/s) وسرعة خروج ثابتة (6m/s) أما الشكل (6) فيبين تغير قطر الخروج كتابع لقطر الدخول في الشروط السابقة نفسها. كما يمكن بهذه الطريقة اختبار مقطعي الدخول والخروج المناسبين، كما يمكن اختيار زاوية ميل البرج الملائمة ولا سيما إذا كانت الاستطاعة المطلوبة من العنفة الريحية معلومةً عندنا.

الجدول (3) بارامترات الرياح عند مخرج البرج كتابع لبارامترات الدخول من أجل زاوية ميل للبرج  $\varphi = 10^\circ$ .

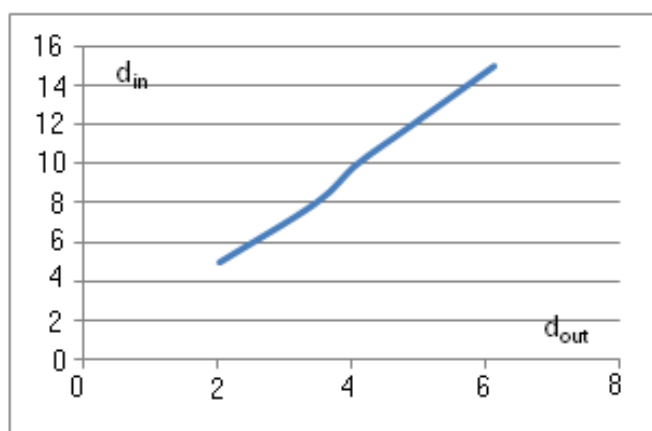
الكثافة	الضغط عند	السرعة	درجة حرارة	ارتفاع مقطع القناة	قطر مقطع	الكثافة	تدفق الهواء	درجة	القطر
---------	-----------	--------	------------	--------------------	----------	---------	-------------	------	-------

عند المدخل $d_{in}$ m	حرارة الدخول $T_{in}$ k	الكتلي kg/s	$\rho_{in}$ kg/m <sup>3</sup>	الخروج $d_{out}$ m	$m_h = \frac{d_{in} - d_{out}}{\tan \varphi}$	الخروج $T_{out}$ k	$w_{out}$ m/s	المخرج $P_{out} \times 10^5$ Pa	$\rho_{out}$ kg/m <sup>3</sup>
5	288	24.04	1.234	2.0339	16.8	287.98	6	1.01298	1.2244
	300	23.098	1.177			299.985		1.01294	1.1768
	310	22.39	1.1412			309.95		1.01263	1.1407
7	288	48.434	1.234	2.334	26.46	287.98	6	1.013	1.2338
8	288	61.996	1.234	3.266	26.84	287.97	6	1.01278	1.2336
	288	61.996	1.234	2.431	31.58	287.949	10	1.01258	1.23346
10	288	96.869	1.234	4.08	33.558	287.982	6	1.01298	1.2338
12	288	139.49	1.234	4.899	40.269	287.982	6	1.01298	1.2338
15	288	217.955	1.234	6.124	50.334	287.981	6	1.01297	1.2338



الشكل (5) تغير ارتفاع البرج  $h(m)$  كتابع لقطر الدخول  $d_i$  عند سرعة دخول ثابتة (1m/s) وسرعة خروج ثابتة (6m/s) لزاوية ميل  $10^\circ$  يظهر الجدول (4) مختلف المتغيرات للرياح عند مدخل ومخرج البرج الريحي كتابع لسرعة الرياح عند المدخل ولزاوية ميل للبرج  $\varphi = 5^\circ$ .

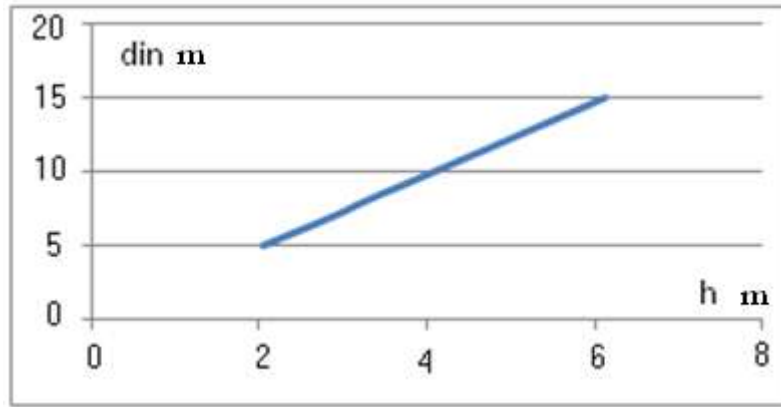
كما يظهر الشكل (7) تغير ارتفاع البرج كتابع لقطر الدخول من أجل سرعة دخول ثابتة (1m/s) وسرعة خروج ثابتة (6m/s) أما الشكل (8) فيبين تغير قطر الخروج كتابع لقطر الدخول في الشروط السابقة نفسها. يمكن باتتباع هذه الطريقة اختيار مقطعي الدخول والخروج المناسبين، كما يمكن اختيار زاوية ميل البرج الملائمة ولا سيما فيما إذا كانت الاستطاعة المطلوبة من العنفة الريحية معلومة عندنا.



الشكل (6) تغير قطر الخروج للبرج كتابع لقطر الدخول عند سرعة دخول (1m/s) وسرعة خروج (6m/s) من أجل زاوية ميل  $10^\circ$

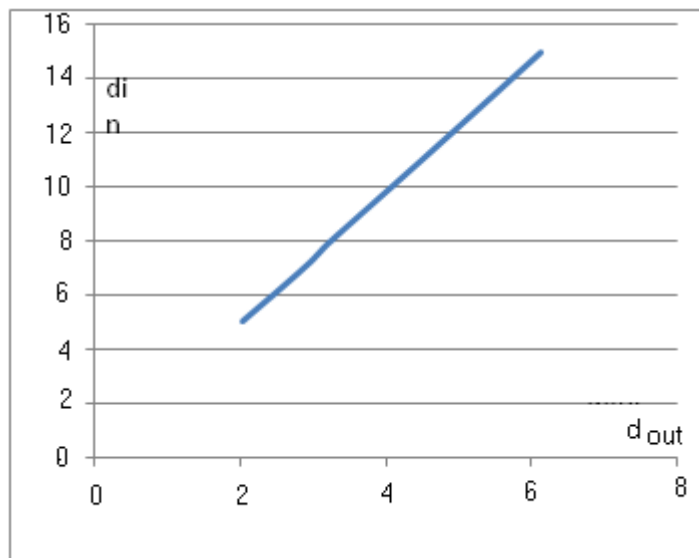
الجدول (4) بارامترات الرياح عند مخرج البرج كتابع لبارامترات الدخول من أجل زاوية ميل للبرج  $\varphi = 5^\circ$ .

القطر عند المدخل $d_{in}$ m	درجة حرارة الدخول $T_{in}$ K	تدفق الهواء الكتلي kg/s	الكثافة $\rho_{in}$ kg/m <sup>3</sup>	قطر مقطع الخروج $d_{out}$ m	ارتفاع القناة $m_h = \frac{d_{in} - d_{out}}{\tan \varphi}$	درجة حرارة الخروج $T_{out}$ K	السرعة $w_{out}$ m/s	الضغط عند المخرج $P_{out} \times 10^5$ Pa	الكثافة $\rho_{out}$ kg/m <sup>3</sup>
5	288	24.04	1.234	2.0339	33.9	287.98	6	1.01298	1.2244
	300	23.098	1.177			299.985		1.01294	1.1768
	310	22.39	1.1412			309.95		1.01263	1.1407
7	288	48.434	1.234	2.88	80.91	287.98	6	1.013	1.2338
8	288	61.996	1.234	3.25	135	287.97	6	1.01278	1.2336
	288	61.996	1.234	1.99	203.7	287.949	10	1.01258	1.23346
10	288	96.869	1.234	4.08	325.4	287.982	6	1.01298	1.2338
12	288	139.49	1.234	4.899	381	287.982	6	1.01298	1.2338
15	288	217.955	1.234	6.124	550	287.981	6	1.01297	1.2338



الشكل (7) تغير ارتفاع البرج كتابع لقطر الدخول من أجل سرعة دخول ثابتة (1m/s) وسرعة خروج ثابتة (6m/s) وزاوية ميل البرج  $5^\circ$  يظهر الجدول (5) الاستطاعة النوعية للتيار الريحي ضمن البرج تبعاً لتغير قطر الدخول وزاوية ميل البرج

من أجل سرعة تصميمية ثابتة مقدارها (6m/s).

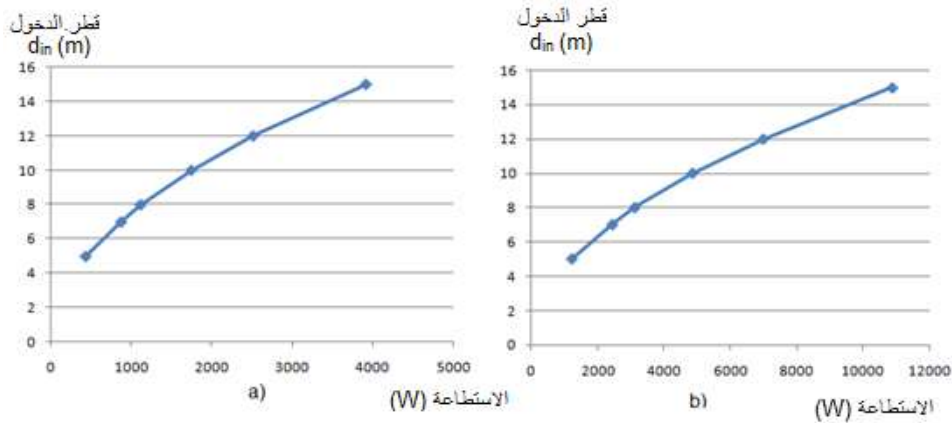


الشكل (8) تغير قطر الخروج كتابع لقطر الدخول من أجل سرعة دخول ثابتة (1m/s) وسرعة خروج ثابتة (6m/s) وزاوية ميل البرج  $5^\circ$

الجدول (5) الاستطاعة النوعية للتيار الريحي ضمن البرج من أجل سرعتين تصميميتين ثابتتين مقدارهما (6m/s) و (10 m/s)

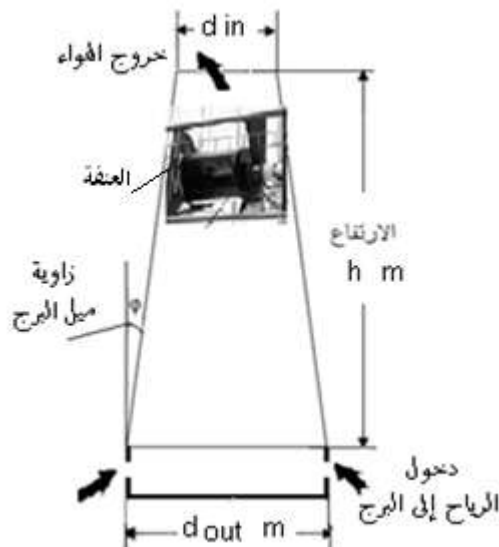
التدفق $\dot{m}$ (kg / s)	قطر الدخول $d_{in}$ (m)	ارتفاع القناة $h$ (m)		الطاقة المنتجة لمقطع عرضي $E_{air} = 0.5\dot{m}w^2$	
		$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 5^\circ$	W=6m/s	W=10m/s
1.2244	5	16.8	33.9	432.5	1201
1.1768	7	26.46	80.91	871.81	2422.22
1.2338	8	26.84	135	1115.93	3100
1.23346	10	33.558	325.4	1743.64	4843.44
1.23346	12	40.269	381	2511	6975
1.2338	15	50.334	550	3913.19	10869.9

يوضح الشكل (9) تغير الاستطاعة التي يمكن توليدها من البرج كتابع لتغير قطر المقطع عند سرعات خروج ثابتة (6m/s) و (10m/s).



الشكل (9) تغير الاستطاعة التي يمكن توليدها كتابع لقطر المقطع (a) عند سرعة خروج ثابتة - (6m/s)، (b) عند سرعة خروج (10m/s).

أما الشكل (10) فيوضح الأبعاد التصميمية للبرج الريحي المقترح.



الشكل (10) الأبعاد التصميمية للبرج الريحي

## الاستنتاجات والتوصيات:

يمكن الخلوص من هذه الدراسة إلى الاستنتاجات الآتية:

- 1- يمكن تأمين سرعة رياح تضمن عمل العنفة الريحية طيلة أيام السنة؛ وذلك بالتصميم الصحيح لبرج العنفة.
- 2- يمكن الاستفادة من الارتفاع الكبير لبرج العنفة في تركيب عدد من الخلايا الكهروضوئية على السطح الخارجي لبرج العنفة الريحية بهدف إنتاج الطاقة الكهربائية نهاراً، خاصةً إذا علمنا أن سرعة الرياح نهاراً تكون أقل مما هي عليه ليلاً وهذا يؤمن استقرار عمل النظام.
- 3- إن الارتفاع الكبير للبرج يسمح بتركيب أكثر من عنفة ريحية ضمن البرج الواحد؛ وهذا يجعل كثافة الطاقة المولدة من واحدة المساحة كبيراً مقارنةً ببقية الأبراج المستخدمة.
- 4- تركيب مجمعات شمسية بالتناوب مع الخلايا الكهروضوئية على الجدار الخارجي لبرج العنفة لتأمين الطاقة الحرارية اللازمة لتسخين الهواء داخل البرج باستخدام خزان حراري ملائم أو للاستخدام الصحي.
- 5- يوصى بتصنيع نموذج مخبري يتم تجهيزه بكافة المتطلبات ومن ثم استخدامه في إجراء القياسات التجريبية ومقارنتها مع النتائج التحليلية.

## المراجع العلمية

- 1- علي محمود وآخرون. *أطلس الرياح في القطر العربي السوري*، رئاسة مجلس الوزراء. 1988. 263.
- 2- ALDO V. DA ROSA *FUNDAMENTALS OF RENEWABLE ENERGY PROCESSES* 2nd Edition NEW YORK 2009. 818
- 3- ف. ف. تسينكوف؛ ب. أ. غريغورييف. *انتقال الحرارة والكتلة*. الجامعة التقنية موسكو 2005. (مترجم عن الروسية). 548
- 4- ف. أي. فيساريونوف *طرق حساب مصادر الطاقات البديلة*، موسكو معهد الطاقة 2007. (مترجم عن الروسية). 144
- 5- J. P. Holman "*Heat Transfer*" ninth Edition 2002 Methodist University 655.
- 6- Yunus A. Çengel and Michael A. Boles, *Thermodynamics: An Engineering Approach*, 5th edition. The McGraw-Hill Companies. 2006. 962.
- 7- PETER GEVORKIAN, PH.D., P.E. *ALTERNATIVE ENERGY SYSTEMS IN BUILDING DESIGN*, New York, Chicago, San Francisco, Lisbon, London, Madrid, Mexico City, Milan New Delhi, San Juan, Seoul, Singapore, Sydney, Toronto. Copyright 2010 by The McGraw-Hill Companies, 545
- 8- F. A. Kereleen, F. F. Cyechef, A. E. Sheyndlen. *Technical Thermodynamic* Moscow. 2008. 495