

An Analytical Study of Construction for Working Wind Turbines in the Areas of Low Speed of the Wind

Dr. Ayoub Hasan*
Dr Mohamed Ali**
Dr Heithem Issa***
Mai Nuhad Saaed****

(Received 13 / 12 / 2021. Accepted 27 / 3 / 2022)

□ ABSTRACT □

In the shade of increasing crisis of the consumption of the power, and expecting permeation of the fossil fuel, and huge increasing in the prices of the energy especially electrical energy, and dangers of pollution which pervades world.

It becomes necessary to use the renewable energy techniques like wind energy especially in the areas which suffer low wind speeds like our coastal area.

Therefore, the research tends to create a new mechanism for running the wind turbines by rising the wind speed to the required speed of rotating the wind turbines, and producing electrical energy.

the construction consists of heat exchanger which is heating the atmospheric air and its speed is increasing, then the hot air tends towards variable area tower, and at the outlet section of tower there is wind turbine.

Therefore, the researcher has studied construction of working wind turbines, and prepared computer program by using Matlab Language, to design variable area tower and chosen the optimal dimensions which achieves low cost and high efficiency.

Keywords: wind turbines, electrical energy, variable area tower, heat exchanger.

*Professor, Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. AyoubHassan@gmail.com

** Associate Professor, Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. MuhammadAli@gmail.com

***Associate Professor, Department of Marine Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. HaithaIssa@scs-net.org

**** Postgraduate Student (Doctorate), Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. memi-s981@hotmail.com

دراسة تحليلية لمنشأة تشغيل العنفات الريحية في المناطق منخفضة سرعة الرياح

د. أيوب حسن*
د. محمد علي**
د. هيثم عيسى***
مي نهاد سعيد****

(تاريخ الإيداع 13 / 12 / 2021. قُبِلَ للنشر في 27 / 3 / 2022)

□ ملخص □

في ظل الأزمة المتصاعدة في استهلاك الطاقة ومع توقع نفاذ الوقود الأحفوري، والارتفاع المتزايد في أسعار الطاقة، لا سيما الطاقة الكهربائية، ومخاطر التلوث التي اجتاحت العالم، أصبح من الضروري استخدام تقنيات الطاقة المتجددة ومنها طاقة الرياح، خاصة في المناطق التي تعاني من سرعات رياح منخفضة صيفاً كما هو الحال في منطقتنا الساحلية. لذلك اتجه البحث لخلق آلية جديدة لتشغيل العنفات الريحية عن طريق زيادة سرعة الرياح إلى السرعة الملائمة لعمل العنفات الريحية، وتوليد الطاقة الكهربائية. إذ تتألف المنشأة من مبادل حراري يتم فيه تسخين الهواء الجوي وتزداد سرعته، ثم يتجه الهواء الساخن نحو برج متغير المقطع، وعند مقطع الخروج للبرج تم تركيب عنفة ريحية. لذلك قام الباحث بدراسة منشأة تشغيل العنفة الريحية، وتم إعداد برنامج حاسوبي باستخدام لغة Matlab خاص لتصميم البرج المتغير المقطع، وتم من خلاله البحث عن الأبعاد المثلى للبرج المتغير المقطع بما يحقق تكلفة تصنيع منخفضة، ومردود مرتفع.

الكلمات المفتاحية: العنفات الريحية، الطاقة الكهربائية، البرج المتغير المقطع، المبادل الحراري.

* أستاذ - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهمةك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. AyoubHassan@gmail.com
** أستاذ مساعد - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهمةك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. MuhammadAli@gmail.com
*** أستاذ مساعد - قسم الهندسة البحرية - كلية الهمةك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. Haithalssa@scs-net.org
**** طالبة دكتوراة - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهمةك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. memi-s981@hotmail.com

مقدمة:

إنّ التوجه العالمي نحو استخدام الطاقات البديلة من جهة ومشكلة التلوث التي تتفاقم يوماً بعد يوم من جهة أخرى، جعل استخدامها ضرورة ملحة على اعتبارها مصدر نظيف ومجاني للطاقة الكهربائية. وتعتبر طاقة الرياح في الوقت الحالي أحد أرخص الطاقات البديلة والنظيفة بيئياً، ولكن توجد العديد من التحديات التي تواجه إنشاء المزارع الريحية wind farms في القطر العربي السوري كالحاجة إلى حد أدنى من سرعة الرياح [1]، كما هو الحال في منطقتنا الساحلية إذ أنّ واردات الرياح في فصل الصيف منخفضة، الأمر الذي يعيق بناء المزارع الريحية لتوليد الطاقة الكهربائية، لذلك من الضروري حل مشكلة سرعة الرياح المنخفضة عن طريق زيادة سرعة الهواء، وذلك من خلال بناء بيئة صناعية تقوم برفع سرعة الهواء إلى السرعة المطلوبة وذلك بمروره بمرحلتي تسريع: المرحلة الأولى التسخين heating هذه المرحلة كفيلة بتحفيز الهواء ودفعه نحو الأعلى باتجاه برج متغير المقطع، والذي يشكل مرحلة التسريع الثانية، وعند مقطع الخروج للبرج يصطدم الهواء بشفرات عنفة ريحية يؤدي إلى تدويرها وتوليد الطاقة الكهربائية. لذلك تمّ من خلال البحث حلّ المشاكل التالية:

- الطلب المتزايد على الطاقة.
- تلوث الهواء الجوي بغازات المصانع ومحطات توليد الطاقة.
- استبدال محطات الطاقة ذات الحجم الكبير والكلفة التأسيسية الضخمة بمحطات ذات طاقة نظيفة وكلفة إنشاء أقل.
- تأمين الطاقة الكهربائية للمناطق النائية.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمّن أهمية البحث في بناء منظومة متكاملة لحل مشكلة سرعة الرياح المنخفضة في المناطق منخفضة سرعة الرياح لتأمين السرعة المناسبة لدوران العنفة الريحية بهدف الحصول على مصدر دائم للطاقة الكهربائية. لذلك اتجهت الدراسة إلى بناء برنامج حاسوبي لمنظومة تشغيل العنفة الريحية، والبحث عن الأبعاد المثلى للبرج المتغير المقطع باستخدام لغة Matlab بما يحقق أقل كلفة ممكنة، الأمر الذي ينعكس إيجاباً على تصميم المنشأة وتحقيق توليد الطاقة الكهربائية بمرود اقتصادي مرتفع.

طرائق البحث ومواده:

تمّ في هذا البحث إعداد برنامج خاص لتصميم منظومة تشغيل العنقات الريحية، إذ تشكل البارامترات التالية الدخل (Input) لبرنامج Matlab: $V_2, D_T, V_0, T_0, P_0, \rho_0, T_1, \phi$ حيث:

V_2 : سرعة الهواء اللازم لتدوير العنفة m/s.

D_T : قطر العنفة الريحية m.

T_0 : درجة حرارة الهواء الجوي صيفاً K.

P_0 : ضغط الهواء الجوي عند الشروط النظامية Pa.

V_0 : سرعة الهواء الجوي m/s.

ρ_0 : كثافة الهواء الجوي kg/m^3 .

T1: درجة حرارة الهواء عند مخرج المبادل الحراري ومدخل البرج المتغير المقطع K.

ϕ : زاوية ميل البرج المتغير المقطع degree.

أما الخرج (Output) للبرنامج فهو: P_2, D_1, Hz, N

D_1 : قطر مقطع الدخول للبرج m.

Hz: ارتفاع البرج المتغير المقطع m.

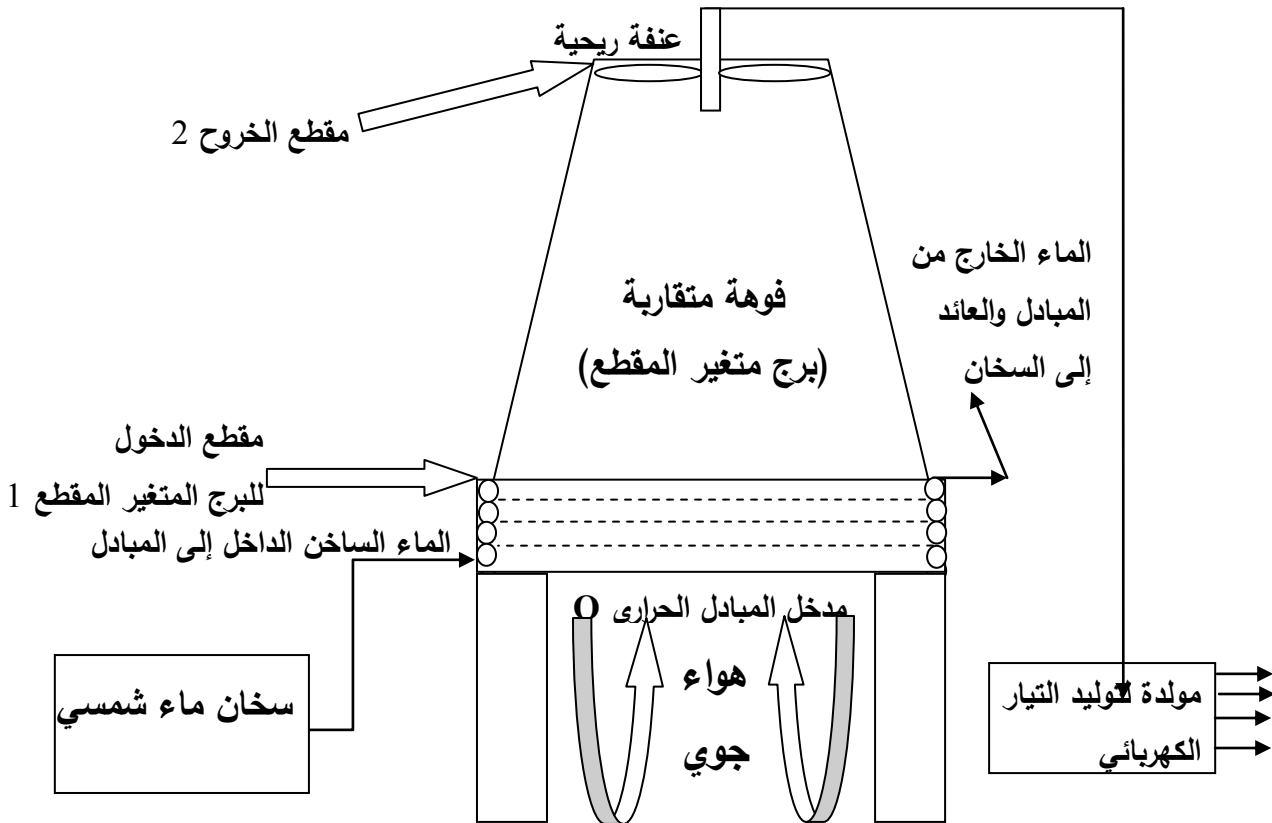
N: استطاعة العنفة الكهربائية kW.

P_2 : الضغط عند مقطع الخروج للبرج Pa.

وتمت دراسة تأثير مختلف البارامترات على استطاعة العنفة N، والبحث عن الأبعاد المثلى للبرج المتغير المقطع، وفي النهاية خلص الباحث إلى مجموعة من الاستنتاجات والتوصيات.

1. أقسام منظومة تشغيل العنفة الريحية: تتألف الدارة من الأقسام التالية، كما هو مبين في الشكل:

- 1- سخان ماء شمسي.
- 2- مبادل حراري (ماء-هواء) حيث يعتبر الماء هو الوسيط الساخن والهواء الوسيط البارد.
- 3- برج متغير المقطع.
- 4- عنفة ريحية.



الشكل (1) منشأة تشغيل العنفة الريحية

2. تصميم منشأة تشغيل العنفة الريحية:

أولاً: اختيار السخان الشمسي:

يتم اختيار سخان شمسي ضغط منخفض مع خزان مياه ساخنة يعمل بالدوران الطبيعي، سماكة العازل يؤمن قابلية حفظ الحرارة لمدة 72 ساعة، والجهاز مزود بعكاس للاستفادة من أكبر قدر ممكن من أشعة الشمس.

ثانياً: تصميم البرج المتغير المقطع:

انطلاقاً من القيم التصميمية للعنفة الريحية (سرعة الهواء اللازم لتدوير العنفة V_2 وقطر العنفة D_T) سيتم تصميم البرج المتغير المقطع كما يلي:

- تحديد سرعة الهواء V_1 عند مقطع الدخول للبرج المتغير المقطع وخرج المبادل الحراري، ويتم حسابها وفق معادلة الاستمرار [2]:

$$\rho.V.A = const$$

وبتطبيق معادلة الاستمرار بين مقطعي الدخول والخروج من المبادل:

$$\rho_0.V_0.A_0 = \rho_1.V_1.A_1; A_0 = A_1 \Rightarrow \rho_0.V_0 = \rho_1.V_1$$

ρ_1 : الكتلة النوعية للهواء عند مدخل البرج المتغير المقطع kg/m^3 .

P_1 : ضغط الهواء عند مقطع الدخول للبرج، ومخرج المبادل الحراري وهي تُعطى بالعلاقة: $P_1 = \rho_1 RT_1$

حيث ρ_1 : تؤخذ من جدول الخواص الفيزيائية والحرارية للهواء الجاف عند درجة الحرارة T_1 [3].

- إن مساحة مقطع الخروج للبرج تعطى من العلاقة التالية: $A_2 = \frac{\pi.D_2^2}{4}$

D_2 : قطر مقطع الخروج وهو يعطى من العلاقة التالية: $D_2 = D_T + 2*b$

D_T : قطر العنفة الريحية.

b : الخلوص بين جدار البرج ونهاية شفرات العنفة mm .

يمكن حساب التدفق عند مقطع الخروج من العلاقة التالية: $m = \rho_2.V_2.A_2$

ولحساب مساحة مقطع الدخول للبرج المتغير المقطع نطبق معادلة الاستمرار بين مقطعي الدخول (1) والخروج للبرج:

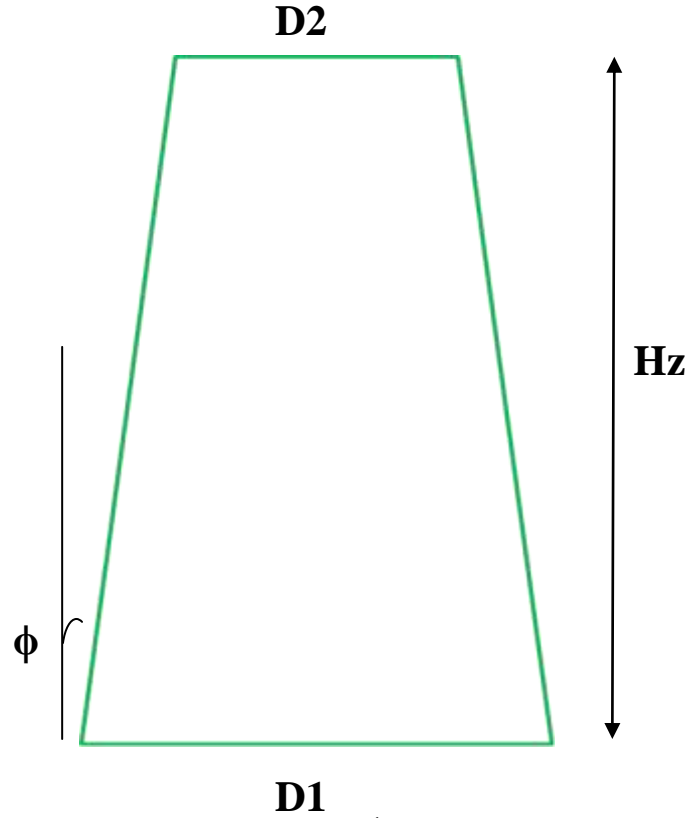
(2):

$$\rho_1.V_1.A_1 = \rho_2.V_2.A_2 \Rightarrow A_1 = \frac{\rho_2.V_2.A_2}{\rho_1.V_1}$$

فيكون قطر مقطع الدخول: $D_1 = \sqrt{\frac{A_1.4}{\pi}}$

- حساب ارتفاع البرج يعطى بالعلاقة التالية [1]: $H_z = \left(\frac{D_2 - D_1}{2} \right) \tan(90 - \phi)$

حيث: ϕ : زاوية ميلان البرج degree .



الشكل (2) أبعاد البرج المتغير المقطع

ولحساب درجة الحرارة عند مقطع الخروج للبرج، وعلى اعتبار الجريان إيزونتروبي ضمن البرج يمكن تطبيق معادلة القدرة بين مقطعي الدخول 1 والخروج للبرج 2 كما يلي [4]:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2} = h_2 + \frac{v_2^2}{2}$$

$$C_p \cdot T_1 + \frac{v_1^2}{2} = C_p \cdot T_2 + \frac{v_2^2}{2} \Rightarrow T_2 = \frac{1}{C_p} \left(\frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right) + T_1$$

ولتحديد نوعية الجريان ضمن البرج يجب إيجاد رقم ماخ أولاً عند مقطع الخروج وهو يُعطى من العلاقة التالية:

$$M_2 = \frac{V_2}{\sqrt{\gamma RT_2}}$$

إذا كان $M_2 < 0.3$ فإن الجريان غير قابل للانضغاط [5].

تصل أعلى قيمة لرقم ماخ عند مقطع الخروج للبرج إذ أنّ سرعة الهواء 30m/s، ودرجة حرارة الهواء عند مقطع الخروج للمبادل الحراري 95c⁰، بالتالي يمكن حساب درجة حرارة الهواء عند مقطع الخروج للبرج وفق معادلة القدرة (حيث سرعة الهواء عند مقطع الدخول للبرج 3.6m/s):

$$T_2 = 367.55K$$

بالتالي رقم ماخ عند المخرج:

$$M_2 = \frac{30}{\sqrt{1.4 \times 287 \times 367.55}} = 0.078 < 0.3$$

وبما أنّ رقم ماخ أصغر من 0.3 فإنّ الجريان ضمن البرج غير قابل للانضغاط $\rho_1 = \rho_2$ ، وبالتالي يمكن حساب الضغط عند مقطع الخروج للبرج بتطبيق قانون برنولي بين مقطعي الدخول والخروج للبرج كما يلي:

$$\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho_1 g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 \Rightarrow P_2 = \rho_1 g \left(\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} - H_z \right)$$

حيث: $H_z = h_2 - h_1$ (ارتفاع البرج المتغير المقطع)

- يتم حساب الاستطاعة الكهربائية الناتجة عن العنفة الريحية وفق القانون التالي:

$$N = \frac{1}{2} * c_p * \rho_1 * A_2 * V_2^3$$

c_p : معامل القدرة (Power coefficient) وهو يساوي تقريباً 0.593.

ثالثاً: اختبار المبادل الحراري المناسب:

يقوم المبادل الحراري بتسخين الهواء الجوي ورفع درجة حرارته إلى درجة حرارة معينة مما يؤدي إلى انخفاض كثافته، ودفعه نحو الأعلى.

والمبادل الحراري المناسب لتنفيذ عملية التسخين يجب أن يتمتع بالموصفات التالية [6]:

• يمتلك سطح تبادل حراري مرتفع.

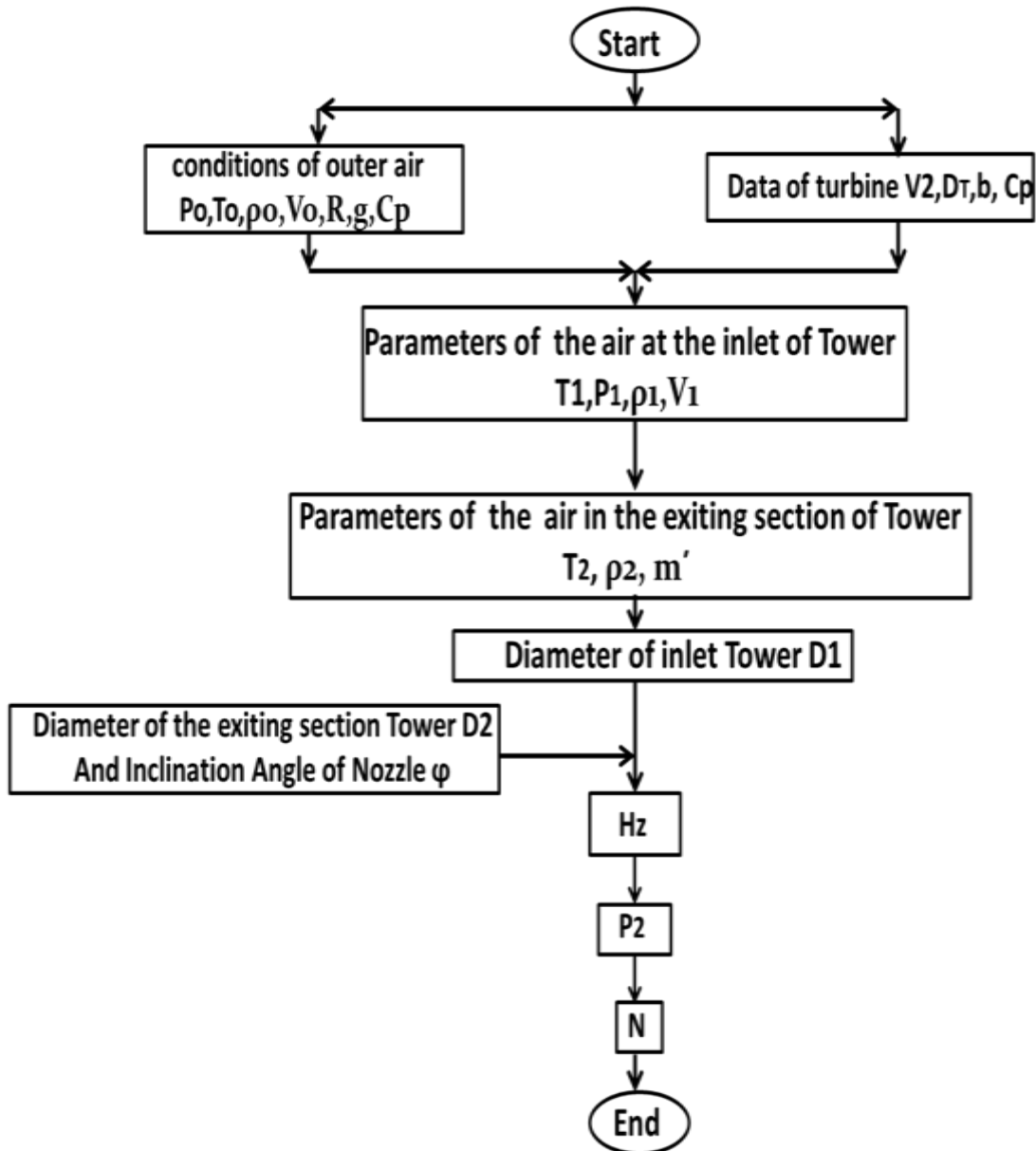
• إمكانية تركيبه ضمن حيز أسطواني الشكل.

لذلك يمكن استخدام المبادل الحراري الحلزوني المركزي في عملية تسخين الهواء الجوي لما يتمتع به من سطح تبادل حراري مرتفع، والشكل اللولبي الذي يسمح بتركيبه في فراغ أسطواني [7].

إذ يوضع المبادل الحراري ضمن الفتحة الأولية للبرج (كما هو مبين في الشكل 1) وهو عبارة عن أنبوب ملفوف على شكل لولبي، ويتم جريان الماء داخل أنبوب المبادل الحراري وهو يمثل الوسيط الحراري الساخن، أما الهواء الجوي فهو يمثل الوسيط الحراري البارد وهو يجري حول أنبوب المبادل الحراري، ويتم جريان الوسيطين الحراريين بشكل متصالب [8].

خوارزمية تصميم البرج المتغير المقطع:

تم إنشاء برنامج باستخدام لغة Matlab خاص لتصميم البرج المتغير المقطع، وذلك وفقاً للخوارزمية المبينة في الشكل التالي:



الشكل (3) خوارزمية تصميم البرج المتغير المقطع

3. التحقق من النتائج (Validation):

تم التحقق من النتائج وذلك بمقارنة النتائج التحليلية التي تم التوصل إليها في البحث مع دراسات سابقة تتضمن دراسة فوهة متقاربة أفقية والمستخدم بهدف زيادة سرعة الرياح إلى السرعة اللازمة لتشغيل عنفة ريحية متوضعة بشكل أفقي وبدون إجراء تسخين للهواء، إذ يتم تركيب المنظومة على أسطح الأبنية السكنية لتوليد التيار الكهربائي [9].

النتائج والمناقشة:

بناءً على معطيات المنطقة الساحلية وبالعودة إلى مخطط توزيع المناخ وسرعة الرياح ودرجة الحرارة، فكانت بارامترات الهواء عند مدخل المنشأة كما يلي [10]:

درجة حرارة الهواء هي درجة حرارة الهواء الجوي صيفاً: $T_0=32c^0=305K$

ضغط الهواء عند الشروط النظامية: $P_0=1.013*10^5Pa$

سرعة الرياح صيفاً في شهر تموز تؤخذ وسطياً: $V_0=3m/s$

فتكون كثافة الهواء وفق معادلة الحالة للغازات المثالية: $\rho_0=1.157kg/m^3$

درجة حرارة الهواء عند مخرج المبادل الحراري: $T_1=95c^0=368K$

الضغط عند مخرج المبادل الحراري ومدخل البرج المتغير المقطع: $P_1=1.01285*10^5Pa$

كثافة الهواء عند مخرج المبادل الحراري: $\rho_1=0.959kg/m^3$ ، فتكون سرعة الدخول للبرج المتغير المقطع $3.6m/s$.

ووفق المعطيات السابقة تمت دراسة عوامل مختلفة، ومدى تأثيرها على استطاعة العنفة الكهربائية عند سرع مختلفة

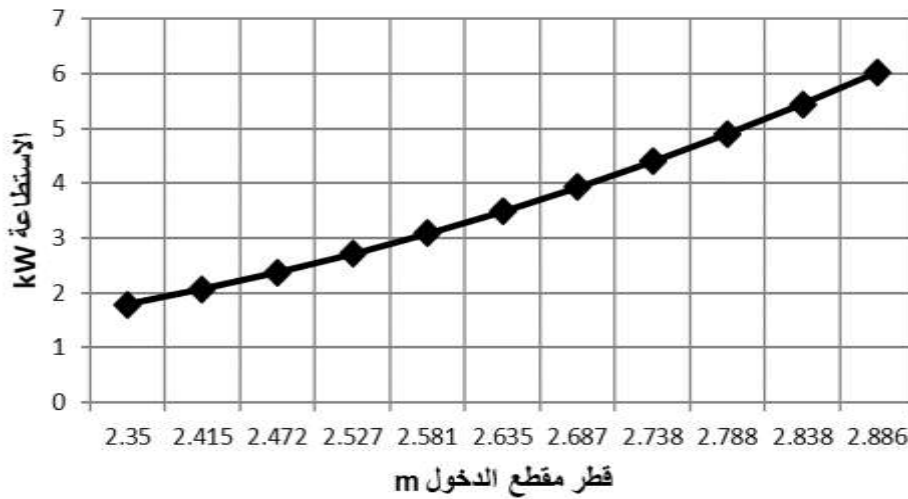
للعنفة الريحية (على اعتبار أن العنفة المختارة هي عنفة جناح طائرة من نوع RAT وهي تتميز بأنها ذات تدفق

محوري وتعمل عند سرعات رياح مرتفعة وذات قطر $1m$ [11])، نرتب النتائج التي حصلنا عليها في الجدول (1):

الجدول (1) تأثير سرعة العنفة والقطر والتدفق على الاستطاعة وتغير الارتفاع عند زوايا مختلفة

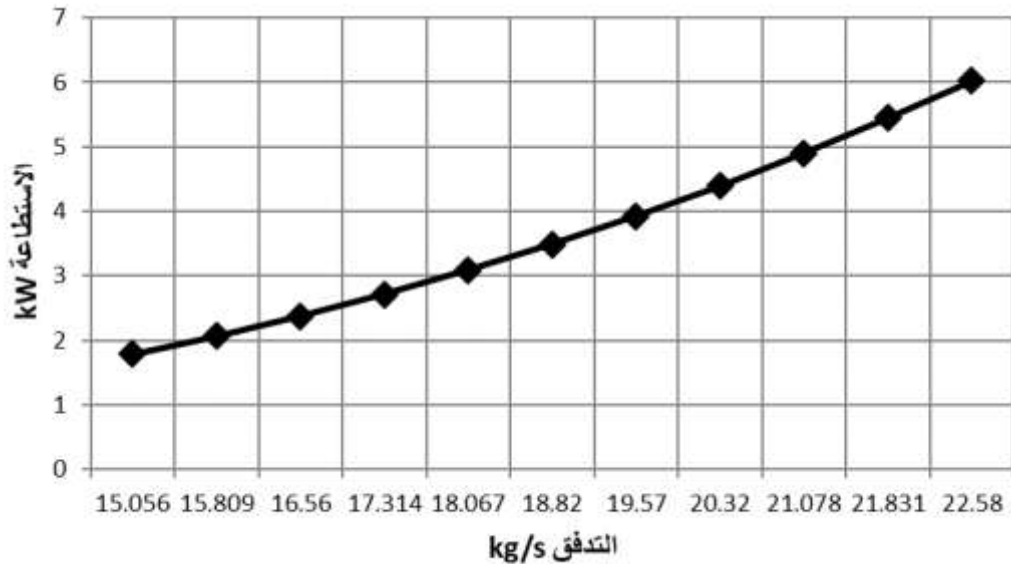
قطر العنفة 1m									
الاستطاعة kW	التدفق kg/s	قطر الدخول m	السرعة m/s	الارتفاع Hz عند زوايا ميلان مختلفة ϕ					
				5	6	7	8	9	10
1.786	15.0563	2.35	20	7.71	6.422	5.497	4.8	4.26	3.82
2.067	15.809	2.415	21	8.08	6.73	5.76	5.034	4.46	4.012
2.376	16.56	2.472	22	8.412	7	5.99	5.23	4.64	4.17
2.715	17.314	2.527	23	8.726	7.26	6.218	5.43	4.82	4.33
3.085	18.067	2.581	24	9.035	7.52	6.43	5.624	4.99	4.48
3.487	18.82	2.635	25	9.344	7.77	6.65	5.81	5.16	4.63
3.92	19.57	2.687	26	9.64	8.025	6.87	6	5.32	4.78
4.393	20.32	2.7386	27	9.93	8.27	7.08	6.185	5.48	4.93
4.899	21.078	2.788	28	10.218	8.5	7.28	6.36	5.64	5.07
5.443	21.83	2.838	29	10.5	8.743	7.48	6.54	5.8	5.211
6.026	22.58	2.886	30	10.77	8.97	7.68	6.7	5.95	5.34

ولتبيان علاقة الاستطاعة مع قطر مقطع الدخول نرسم مخطط تغير الاستطاعة مع قطر مقطع الدخول:



الشكل (4) علاقة قطر مقطع الدخول واستطاعة العنفة

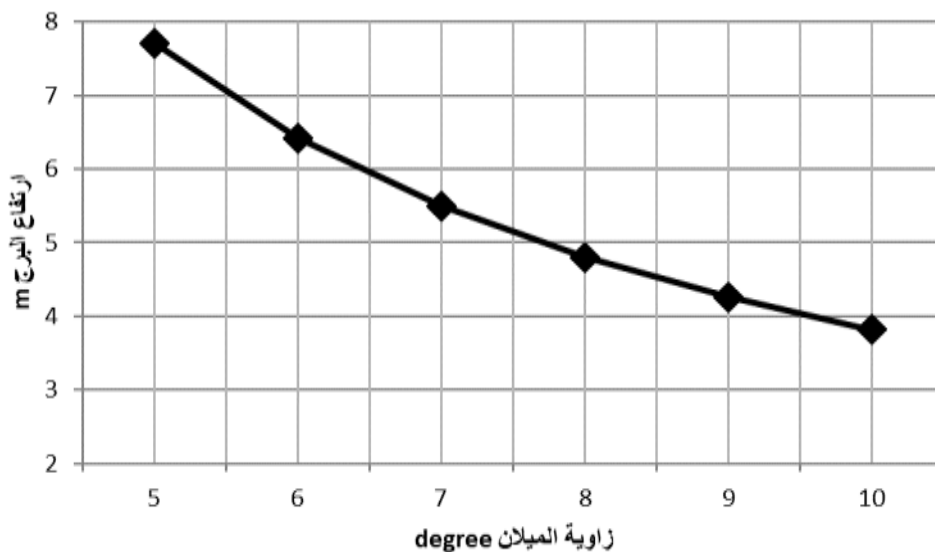
نلاحظ من المخطط أنه بزيادة قطر مقطع الدخول تزداد استطاعة العنفة، وهذا محقق لأنه كما نلاحظ من الجدول (1) أنه بزيادة سرعة العنفة يزداد قطر مقطع الدخول، وبالتالي تزداد الاستطاعة حيث أنها تتناسب مع مكعب السرعة وفق علاقة الاستطاعة الكهربائية الناتجة عن العنفة المذكورة سابقاً.
- ولتبيان العلاقة بين الاستطاعة والتدفق نرسم مخطط تغير الاستطاعة مع التدفق:



الشكل (5) علاقة التدفق واستطاعة العنفة

نلاحظ من المخطط أنه بزيادة التدفق تزداد استطاعة العنفة الكهربائية، إذ ترتفع الاستطاعة كما نلاحظ في المخطط من 1.786kW حتى 6.026kW ($\Delta N=4.24kW$) بزيادة التدفق من 15.056kg/s حتى 22.58kg/s ($\Delta m=7.52kg/s$).

- ولتبيان العلاقة بين زاوية ميل البرج والارتفاع (من الجدول 1) عند سرعة محددة للعنفة الريحية ($V_2=20m/s$)، نرسم المخطط الذي يوضح علاقة زاوية الميل مع الارتفاع:



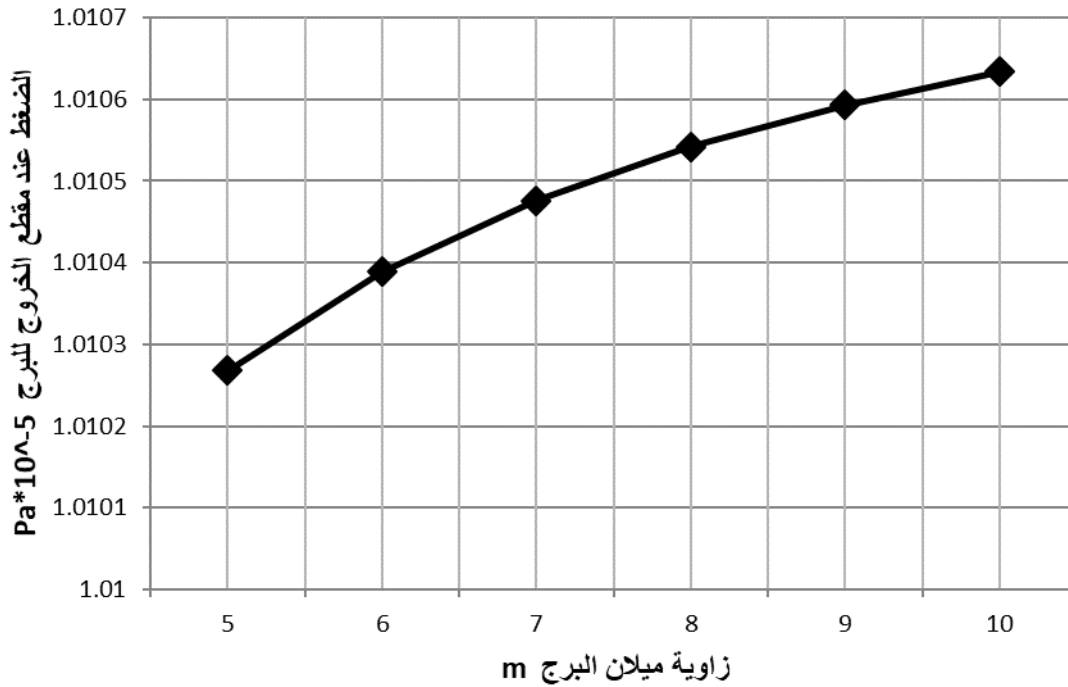
الشكل (6) علاقة الارتفاع مع زاوية الميلان للبرج ($V_2=20m/s$)

نلاحظ من المخطط أنه بازياد زاوية الميلان ينخفض ارتفاع البرج، وبالتالي عند اختيار زاوية ميل مرتفعة يوافق ارتفاع أقل وتتحقق كلفة تصنيع منخفضة ولكن وحسب معادلة برنولي، فإن الارتفاع يؤثر على الضغط عند مقطع الخروج، وبالتالي يؤثر على فرق الضغط والذي يؤثر بدوره على معدل السحب لذلك لنبحث عن علاقة الضغط عند مقطع الخروج وزاوية الميل المؤثرة على الارتفاع.
نرتب النتائج التي حصلنا عليها في الجدول (2):

الجدول (2) الضغط عند مقطع الخروج وزاوية الميلان للبرج

زاوية ميلان البرج degree	الضغط عند مخرج الفوهة Pa
5	1.010268×10^5
6	1.010389×10^5
7	1.010476×10^5
8	1.010542×10^5
9	1.010593×10^5
10	1.010634×10^5

يبين الشكل (7) منحنى تغير الضغط عند مقطع الخروج مع زاوية الميلان للبرج:



الشكل (7) تغير الضغط عند مخرج البرج وزاوية الميلان

يتبين من المخطط أنه بازياد زاوية الميلان للبرج يزداد الضغط عند مقطع الخروج، وبالتالي ينخفض معدل سحب الهواء، لأن الضغط عند المخرج يُعطى بالعلاقة التالية (وفق معادلة برنولي) [12]:

$$P_2 = \rho_1 g \left(\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} - H_z \right)$$

إذ يتبين من العلاقة أنّ الضغط عند مقطع الخروج يتناقص بازياد ارتفاع البرج، والذي يتناقص بازياد زاوية الميلان.
الشكل (6).

الاستنتاجات والتوصيات:**الاستنتاجات:**

تمّ التوصل من خلال الدراسة إلى ما يلي:

1- باستخدام الطريقة المقترحة تمّ حل مشكلة السرعة المنخفضة للرياح، وبالتالي حصلنا على مصدر دائم لا ينضب للطاقة الكهربائية.

2- تبين أنه بزيادة قطر مقطع الدخول للبرج المتغير المقطع تزداد استطاعة العنفة الكهربائية، كما أنه بزيادة التدفق عند مقطع الدخول والسرعة تزداد استطاعة العنفة الكهربائية.

3- يمكن استخدام المنشأة (وفقاً لسرعة الرياح اللازمة لدوران العنفة الريحية) في تغذية مبنى سكني مكون من خمسة طوابق وذلك عند استطاعة العنفة الريحية 6.026kW والتي توافق أبعاد البرج (وفق الجدول (1)): قطر مقطع الدخول 2.886m وقطر العنفة 1m وارتفاع البرج 10.77m وهذه الأبعاد تحقق سرعة هواء عند مقطع الخروج 30m/s، كما يمكن استخدامها لأغراض صناعية على سبيل المثال لتغذية محطة تحلية مياه البحر [13] عند استطاعة العنفة 1.786kW والتي توافق أبعاد البرج (وفق الجدول (1)): قطر مقطع الدخول 2.35m وقطر العنفة 1m والارتفاع 7.71m وهذه الأبعاد تحقق سرعة هواء عند مقطع الخروج 20m/s، وبالتالي حصلنا على مصدر مجاني للكهرباء بعد تغطية رأس المال.

4- تبين أن ارتفاع البرج يتعلق بزوايا الميلان ϕ فكلما زادت زاوية الميلان ينخفض ارتفاع البرج، ولكن بالمقابل بازياد زاوية الميلان يزداد الضغط عند مخرج البرج، وبالتالي ينخفض معدل السحب، لذلك نستنتج حتى يتحقق معدل سحب مرتفع وكلفة تأسيسية منخفضة نختار ارتفاع البرج عند زاوية ميلان 7degree والضغط $(1.010476 \times 10^5) \text{Pa}$ والتي تقابل ارتفاع للبرج مقداره 5.497m.

التوصيات:

تصميم نموذج تجريبي (منصة اختبار) لمنشأة تشغيل العنفة الريحية، وإجراء التجارب اللازمة عليه، بهدف دراسة تأثير تسخين الهواء على الطبقة الحدية الديناميكية والحرارية وتأثيرها على سرعة العنفة والطاقة الكهربائية الناتجة.

References:

- [1] HASAN, A. *Improving the Effectiveness of Wind Turbine Performance on the Coast*, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series, vol (33), No 6, 2011.
- [2] ROGERS, G; MAYHEW, Y. *Engineering Thermodynamics Work and Heat Transfer*, PEARSON, Fourth Edition, 2014, 711.
- [3] LEACH, J. A. *Engineering Thermodynamics*. Juta and Company Ltd, 2007, 164.
- [4] POTTER, M.; WIGGERT, D. *Mechanics of Fluids*, Prentice-Hall International Editions, 1991, 692.
- [5] HIRSCHBERG, A; SMEULDERS, D. M; DOGEN, M. *Gas Dynamics*, ResearchGate, 2015, 123.
- [6] ZOHURI, B. *Heat Exchanger Types and Classifications*, University of New Mexico, 2017, 41.

- [7] BONFONI, G.; CAPATA, R. *Proposed Design Procedure of a Helical Coil Heat Exchanger for an Orc Energy Recovery System for Vehicular Application*, Mechanics, Materials Science & Engineering Journal, Magnolithe, 2015, 22.
- [8] KREITH, F.; MANGLIK, R. M. *Principles in Heat Transfer*, Cengage Learning, 2016, 784.
- [9] Bazgir, AS. *Theoretical Results for Utilizing Nozzle Between the Wind-Way and Wind Turbine in Roof of the Buildings - Wind Speed Increase for Wind Turbine to Produce Electricity*, Journal of Applied Mechanical Engineering, 2017, 5.
- [10] Atlas of winds in the Syrian Arab country.
- [11] LABIDI, A. *RAT: Ram Air Turbine*, National Institute of Applied Science and Technology, 2019, 3.
- [12] Chaudhari, C.; Waghmare, S. A.; Ashish, K. *Numerical Analysis of Venturi Ducted Horizontal Axis Wind Turbine for Efficient Power Generation*, ReasearchGate, 2013, 5.
- [13] TYWONIUK, A; SKORUPKA, Z. *Wind Power Plants – Types, Design And Operation Principles*, Journal of KONES Powertrain and Transport, vol 25, No 3, 2018.

مذكرة حسابية للحسابات النظرية

بفرض سرعة الرياح اللازمة لتدوير العنفة الريحية $V_2=20\text{m/s}$ وقطر العنفة الريحية $D_1=1\text{m}$ تتم الدراسة وفق الخطوات التالية:

إن درجة حرارة الهواء هي درجة حرارة الهواء الجوي صيفاً: $T_0=32^\circ\text{C}=305\text{K}$

ضغط الهواء عند الشروط النظامية: $P_0=1.013 \times 10^5\text{Pa}$

سرعة الرياح صيفاً في شهر تموز تؤخذ وسطياً: $V_0=3\text{m/s}$

فتكون كثافة الهواء وفق معادلة الحالة للغازات المثالية:

$$\rho_0 = \frac{P_0}{R \times T_0} = \frac{1.013 \times 10^5}{287 \times 305} = 1.157 \text{ kg / m}^3$$

ترتفع درجة حرارة الهواء إلى الدرجة T_1 عند مخرج المبادل الحراري إلى: $T_1=95^\circ\text{C}=368\text{k}$

فتكون كثافة الهواء عند مخرج المبادل الحراري (وفق جداول الخواص الفيزيائية والحرارية للهواء): $\rho_1=0.959\text{kg/m}^3$

بالتالي الضغط عند مخرج المبادل الحراري ومدخل البرج المتغير المقطع وفق معادلة الحالة:

$$P_1 = \rho_1 \times R \times T_1 = 0.959 \times 287 \times 368 = 1.01285 \times 10^5 \text{ Pa}$$

- سرعة الدخول للبرج المتغير المقطع وفق معادلة الاستمرار:

$$\rho_0 V_0 = \rho_1 V_1 \Rightarrow V_1 = \frac{\rho_0 V_0}{\rho_1} = \frac{1.157 \times 3}{0.959} = 3.6 \text{ m / s}$$

ولحساب درجة الحرارة عند مقطع الخروج للبرج، على اعتبار الجريان إيزونتروبي يمكن تطبيق معادلة القدرة بين مقطعي الدخول 1 والخروج للبرج 2 كما يلي:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2} = h_2 + \frac{v_2^2}{2}$$

$$C_p T_1 + \frac{v_1^2}{2} = C_p T_2 + \frac{v_2^2}{2} \Rightarrow T_2 = \frac{1}{C_p} \left(\frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right) + T_1$$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{1}{1005} \left(\frac{3.6^2}{2} - \frac{20^2}{2} \right) + 368 = 367.807 \text{ K}$$

بالتالي رقم ماخ عند مقطع الخروج للبرج:

$$M_2 = \frac{20}{\sqrt{1.4 \times 287 \times 367.807}} = 0.05 < 0.3$$

وبما أن رقم ماخ أصغر من 0.3 فإنّ الجريان ضمن البرج غير قابل للانضغاط أي: $\rho_1 = \rho_2$ حساب أبعاد البرج:

- لحساب قطر مقطع الدخول D_1 ، نطبق معادلة الاستمرار بين مقطعي الدخول والخروج للبرج ما يلي:

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2; \rho_1 = \rho_2$$

$$\Rightarrow V_1 A_1 = V_2 A_2$$

$$\Rightarrow A_1 = \frac{V_2 A_2}{V_1} = \frac{20 \cdot \left(\frac{\pi \cdot (1)^2}{4} \right)}{3.6} = 4.363 m^2$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{A_1 \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{4.363 \times 4}{\pi}} = 2.35 m$$

فيكون قطر مقطع الدخول: $D_1 = 2.35 m$

- حساب ارتفاع البرج يعطى بالعلاقة التالية بفرض زاوية ميلان البرج $\phi = 6 \text{ deg}$

$$H_z = \left(\frac{D_2 - D_1}{2} \right) \tan \left(\frac{\pi}{2} - \phi \right)$$

$$H_z = \left(\frac{2.35 - 1}{2} \right) \tan(90 - 6) = 6.422 m$$

ولإيجاد الضغط عند مقطع الخروج للبرج نطبق قانون برنولي بين مقطعي الدخول والخروج للبرج (على اعتبار الجريان غير قابل للانضغاط) كما يلي:

$$\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho_1 g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 \Rightarrow P_2 = \rho_1 g \left(\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} - H_z \right)$$

$$\Rightarrow P_2 = 0.959 \times 9.81 \left(\frac{1.01285 \times 10^5}{0.959 \times 9.81} + \frac{3.6^2}{2 \times 9.81} - \frac{20^2}{2 \times 9.81} - 6.422 \right)$$

$$= 1.0103899 \times 10^5 Pa$$

يتم حساب الاستطاعة الكهربائية الناتجة عن العنفة الريحية وفق القانون التالي:

$$N = \frac{1}{2} * c_p * \rho_1 * A_2 * V_2^3$$

c_p : معامل القدرة (Power coefficient) وهو يساوي تقريباً 0.593.

$$N = \frac{1}{2} \times 0.593 \times 0.959 \times 0.785 \times 20^3 = 1.786 kW$$