

مقارنة الاداء للتوربينات الريحية عموديه المحور رباعية الريش مع ثنائيه الريش

ضرغام عبد الحسن الخفاجي

قسم الهندسة الميكانيكية/ كلية الهندسة/جامعة بابل

المخلص

تعتبر الاختبارات الأداء للتوربينات الريحية من الامور المهمه في استغلال طاقة الرياح لذا تتضمن هذه الدراسة ايجاد الاداء للتوربينه الريحية عمودية المحور رباعية الريش من نوع سفانيوس (Savonius Rotor) الشائع للأستخدام ومقارنته بتوربين سفانيوس ثنائي الريش حيث تعتبر توربينات سفانيوس الثنائي او الثلاثيه الريش معروف على مسرح البحث والاستخدام لذا يعتبر مصدر مقارنه جيد لتحديد اداء رباعي الريش . وتضمنت الدراسة اجراء عمل مختبري لنموذجين من توربين سفانيوس احده ثنائي والاخر رباعي الريش بمرحلة واحده وبدون مسافه تداخل (Overlap) بين الريش للنموذج.

وقد تم تصنيع النموذجين بتعاون مع شركة للصناعات الهندسية . وتم الاختبار في نفق تحت الصوتي تم تجهيزه ومعايرته قبل الاختبار وتم تسجيل سرعة الرياح التي تم بها الاختبار والسرعة الدورانية للتوربينات والعزم المتولد على محور التوربين ثم حسبت القدرة ومعامل القدرة (power coefficient) ونسبة سرعة طرف الريشة (Tip Speed Ratio) وعدد رينولدز المقابل ومنها رسمت منحنيات لازمه لتحديد الاداء لكلا النموذجين وقد اوضحت الدراسة بالأداء الافضل لتوربين ثنائي الريش وهذا يعني ان زياده الريش في التوربينات الريحية عموديه المحور لأكثر من ثلاثيه ريش لغرض زياده مساحة التخميد سوف يعطي مردود عكسي في الاداء عكس مامعترف عليه في التوربينات الريحية افقية المحور .

Abstract:

The wind turbine performance test has high aspect on wind energy utilization. Present work wind tunnel testing of Savanious rotor performance with four blades. Results compared with well-known wind turbine Savnious of two blades. Savanious rotor models are manufactured in Industrial Engineering Company. The subsonic wind turbine had been calibrated before the test. The rotting speed and torque generated one turbine shaft are reported. Powers, power coefficient, tip speed ratio and Rynolds number are calculated. Results show that Savanious rotor with two blades gives good performances compared with four blades rotor.

1-المقدمة

تعتبر طاقة الريح من الطاقات العريقة التي استخدمها الانسان منذ القدم واليوم تعود طاقه الريح باشكالها بمعدات ونظم حديثه لتقف كطاقه بديله او مساعده للطاقات التقليديه وذلك لعدم تسببها لاي تلوث بيئي والذي يعتبر واحد من اهم مشاكل عصر التكنولوجيا الحديثه وقد جعلت البحوث والدراسات في هذا المجال من بدايه جديده لاستخدام هذه الطاقه الحيويه ولعل من اهم الدراسات هي تلك التي تجري في الأنفاق الهوائيه .

وان معظم الاختبارات والبحوث التي اجريت على نماذج من توربين سفانيوس ثنائي او ثلاثي الريش بشكل كبير تناولت مسافة التداخل بين الريشتين (Over lip) وكذلك حجم الفجوه الفاصله (Gap size) لذلك يعتبر توربين سفانيوس الثنائي الريش معروف كثير ا بخصائص ومميزات على مسرح البحوث والاختبارات لذلك تم اختيار هذا النموذج لغرض مقارنه مع توربين سفانيوس يحتوي على اربعة ريش متناظرة مقدار مسافة التداخل بينهما صفر وكذلك اختير نموذج سفانيوس ثنائي الريش مع مسافه تداخل تساوي صفر وقد تم اختيار النموذجين داخل نفق هوائي تحت الصوتي^[6] بمعدلات سرع رياح تراوحت بين (11.1m/s - 15.5m/s).

1- الدراسة العلميه

1-2 وصف النماذج المختبرية

تم تصنيع نموذجين من التوربينات الريحيه ذات المحور العمودي وهي من نوع سفانيوس ذو الريشتين (T.B) ورباعي الريش (F.B) وبواقع مرحله واحده لكلا النموذجين (Single Stage Rotor) وذلك بالتعاون مع شركه للصناعات الهندسيه وقد صنعت النماذج ضمن المواصفات التاليه :- قطر محور التوربين (d=1cm) ريش التوربين بهيئه نصف اسطوانه فجوة التداخل بين الريش عندما تثبت على المحور تساوي صفر (Gap size) ونسبه الابعاد الطويله الى العريضه (Aspect ratio) (1/2) تم تثبيت التربينه داخل النفق الهوائي عن طريق كرسي التحميل وبشكل جيد لتفادي الاهتزازات اثناء التشغيل وقد تم التصميم بمراعاة نسبة مساحه وجه التوربين الى مساحه مقطع الاختبار لتفادي تأثير الطبقات الجداريه المتاخمه داخل النفق وفقاً لمعامل التصحيح (e) المثبت من قبل (pop & Harper^[8]) كما في المعادله التاليه :-

$$e = 0.25 \text{ (model frontal area / test section area)}$$

وقد كانت نسبه مساحه النموذج المختبر تقريباً (3-1) وبذلك تكون (e = 6%)

2-2 . النفق الهوائي تحت الصوتي ومعايرته

استخدم نفق هوائي تحت صوتي (Subsonic wind tunnel) مصنع من شركة (Armfield) الانجليزية عبارة عن مجرى هوائي مغلق مكون من ثلاث مقاطع متصله مع بعضها طوله (260 cm) وهي كمايلي:

المقطع الاول :- وهو عبارة عن مجرى ذو مقطع دائري مصنع من الالياف الزجاجيه المقساة (Harding fiber glass) ذو طول حوالي (86 cm) (منطقه دخول الهواء) مصممه بشكل انسيابي خالي من الزوايا الحاده لضمان انسياب الهواء الى داخل النفق دون حدوث دوامات او جريان مضطرب وكذلك مزود بمشبك على شكل خلايا النحل الغرض منه دخول الهواء الى داخل النفق بشكل جريان منتظم (uniform)

المقطع الثاني :- يمثل هذا المقطع مقطع الاختبار وهو عبارة عن مقطع مربع ابعاده (30 x 30 cm) مصنع من الألواح البلاستيكية الشفافة لغرض لسهولة المراقبه للنماذج المختبره ومجهز بفتحات لتثبيت النماذج والمعدات الملحقه الاخرى ويبلغ طول هذا المقطع حوالي (46 cm) ومتصل مع المقطع الاول بواسطة مجموعه مسامير تثبت وتوجد وتوجد عدت فتحات على محيط والمتصله مع بعضها بواسطة انبوب مطاطي لغرض قياس فرق الضغط قرب جدار مقطع الاختبار ومصمم هذا المقطع بحيث يسهل انزلاقه مع المقطع الاول

المقطع الثالث :- عبارة عن مجرى ذو مقطع دائري تقريبا مصنع من الالياف الزجاجيه المقساة تتصل مع مقطع الاختبار بالتلامس المحكم بواسطة وصله مطاطيه والنهايه الاخيريه مصممه لتتركب مروحه ذات خمس ريش مصنوعه من البلاستيك ومثبته بشكل يمكن تحريكها والتحكم بزاوية التثبيت على قرص دائري بواسطة محرك كهربائي.

وقد تم معايره النفق^[8] والهدف من عمليه معايره جهاز النفق الهوائي هو ايجاد سرعة الرياح الحقيقيه الدقيقه في مقطع الاختبار لجهاز النفق الهوائي عند ربط النماذج المختبره وقد كان معامل التصحيح المستخرج من ميل خط المعايره هو ($k = 1.02$)^[5] وقد استخدم مقياس ضغطي لتحديد خط المعايره وهو انبوبة بيتوت (Ptot static tube) وتم تحديد قيمة السرعه في مقطع الاختبار من المعادله التاليه:

$$V = \sqrt{2 * K * (P_t - P_c) / \rho} \dots\dots\dots (2)$$

حيث ان (v) سرعة الرياح داخل النفق (P_t) الضغط الكلي (P_c) الضغط المحيطي لمقطع الاختبار (P) كثافة الهواء وتحسب عند ظروف المختبر وقت الاختبار من المعادل الحاله التاليه:-

$$P = \rho R T \dots\dots\dots (3)$$

حيث ان (P) الضغط الجوي المحلي و (T) درجة حراره المختبر وقت الاختبار (R) الثابت العام للهواء

3-2. قياس العزم الدوراني

قياس العزم المتولد على محور التوربينه نتيجه اصطدام الهواء بالريشه عن طريق منظومه داينمومتر مكونه من قبانين حلزونيين ذو مدى قياس من (0 - 50 N) تعطي فرق الشده على محور التوربين عن طريق بكره ملساء ذات قطر (7.5mm) مثبتة على محور الدوران وتستقر المنظومه على قاعده ساندته مثبتة على طاوله جهاز النفق الهوائي وقد اعتبر الاحتكاك بين البكره والسير مساويه الصفر وبحسب من المعادله التاليه :-

$$T = (F_2 - F_1)r_p \dots \dots \dots (4)$$

حيث ان (r_p) العزم المتولد على محور التوربين ($F_2 - F_1$) فرق الشده على جانبي البكره (r_p) نصف قطر البكره

4-2. قياس السرعة الدورانيه

قيست السرعة الدورانيه بواسطة جهاز ضوئي رقمي حيث يعطي عدد الدورات في الدقيقه رقميا وذلك عن طريق التقطيع الحاصل للحزمه بواسطة المؤشر العاكس المثبت على محور التربين وقد تم تصنيع قاعده مثبتة على طولوله جهاز النفق الهوائي لضمان عدم اهتزاز الجهاز والمحافظة على استقامه حزمة الضوء على محور التربين للحصول على قراءات دقيقه وتحسب السرعة الزاويه بمعلوميه السرعة الدورانيه من المعادله التاليه:-

$$\omega = 2 \pi N / 60 \dots \dots \dots (5)$$

حيث ان (ω) السرعة الزاويه و (N) السرعة الدورانيه .

3 . النتائج والمناقشه

لقد تم تحديد خصائص ومزايا الاداء لكلا النموذجين المختبرين من التوربينات الريحيه نوع سفانيوس (ثنائي الريشه ورباعي الريشه) عن طريق رسم مجموعه من العلاقات البيانيه المقارنه النموذجين اعتمادا على القراءات المسجله والمقاسه (السرعه الرياح داخل النفق والسرعه الدورانيه والعزم المتولد على محور التوربين) والقيم التي تم حسابها للقدرة المتولده على محور التوربينه ومعامل القدره (C_p) والسرعه الزاويه لمحور التربينه (ω) ونسبه وسرعة طرف الريشه (λ) وعدد رينولدز (Re) وقد حددت العلاقة التاليه :-

1-3 العزم والسرعه الزاويه

عند حساب العزم المتولد (T) لمحور التوربينه من المعادله (4) والسرعه الزاويه (ω) التي يدور محور التوربينه من المعادله (5) حددت العلاقه البيانيه والتي بها يتناقص الدوران بزياده عزم التوقف (Break Torque) والشكل (1) يبين المقارنه بين منحنى العزم التوقف والسرعه الزاويه للنموذجين المختبره وعند سرعه رياح ($V = 15.5938 \text{ m/s}$) حيث يلاحظ ان قيم العزم المتولد لتوربين الثنائي الريشه اقل من قيم العزم المتولده لتوربين رباعي الريش عند التوقف ولكن السرعه الزاويه التي يدور بها الاول اكبر من السرعه الزاويه التي يدور بها الثاني.

2-3 القدره والسرعه الزاويه

بعد حساب السرعه الزاويه من المعادله (5) حسب القدره المتولده على محور التوربين من المعادله التاليه:-

$$P = T \omega \dots\dots\dots(6)$$

حيث ان (P) القدره المتولده على محور التوربين حددت العلاقه البيانيه بين قيم القدره والسرعه الزاويه المقابله لها والتي يدور بها التوربين عند سرعه رياح ($v = 15.5938 \text{ m/s}$) في الشكل (2) حيث يلاحظ ان اعظم قدره عندما تكون السرعه الزاويه حوالي (74 rad/s) لنموذج الثنائي وهذا يوثق النتائج التي حصل عليها الباحثين في بحوث سابقه لتوربين ذو الريشتين [4]. من الشكل يبين ان القدره المتولده من توربين ذو الريشتين اكبر من التوربين رباعي الريش ومن المعروف ان القدره المستخلصه من التوربين تزداد بزياده مساحه التخميد ولكن هذا حدث حاله التوربين الرباعي زياده مساحه التخميد بزياده عدد الريش ادى الى نتائج معاكسه حيث ان جزء الريشه المقعر المواجه للرياح سوف يحجب بواسطه الجزء المحدب للريشه التي تليها المواجه للرياح في الرباعي وهذا يعني عمليا خساره في القدره وحيث معامل الاعاقه للشكل المقعر اكبر منه للشكل المحدب حيث يبلغ معامل الاعاقه للشكل المقعر حوالي ($C_D = 2.3$) بينما للشكل المحدب حوالي ($C_D = 1.2$) [7] كذلك فأن زياده عدد الريش يعني زياده التداخل بينهما وهذا يعني تقليل من تأثير رياح على نفس خلال دورة واحده.

2-3 معامل القدره ونسبه سرعه طرف الريشه

يعتبر معامل القدره كتعبير عن الكفاءة في التوربينات الريحيه وتم حسابها وفقا للمعادله التاليه:-

$$C_P = P / P_{av} \dots\dots\dots(7)$$

حيث ان (C_P) معامل القدره (P_{av}) القدره المتاحة (Available power) وتحسب من المعادله التاليه :-

$$P_{av} = 0.593 \rho V^3 / 2 A_{pr}$$

حيث ان (0.593) معامل بتز للتوربينات الريحية^[1] (ρ) كثافة الهواء عند ظروف المختبر)
(A_{pr}) مساحه مسقط الريشه وتحسب من المعادله التاليه :-

$$A_{pr} = b \cdot r_t \dots\dots\dots(9)$$

حيث ان (b) ارتفاع الريشه (r_t) نصف قطر التوربين .
وتم تحديد نسبه سرعه طرف الريشه من المعادله التاليه:

$$\lambda = V_b / V \dots\dots\dots(10)$$

حيث ان (V) سرعه طرف الريشه (tip speed ratio) (V_b) سرعه الخطيه للريشه (Linear velocity) وتحسب من المعادله التاليه:-

$$V_b = \omega r_t \dots\dots\dots(11)$$

حيث ان (V_b) السرعه الخطيه للريشه

وقد رسمت العلاقه البيانيه بين (λ) و (C_p) وتعتبر هذه العلاقه من العلاقات المهمه في تحديد خصائص التوربينات الريحية^[9,3,1] والشكل (3) يبين العلاقه لكلا النموذجين ويلاحظ من الشكل ان كفاءه التوربين تزداد كلما زادت قيمه سرعه طرف الريشه (λ) الى ان تصل الكفاءه الى قيمه معينه بعدها تبدأ الكفاءه بالانخفاض حيث يلاحظ ان اعظم قيمه لمعامل القدره هي عند ($\lambda = 0.45$) بالنسبه للتوربينه ثنائيه الريش وتبلغ اعظم قيمه لمعامل القدره عند ($\lambda = 0.24$) لتوربين رباعي الريش وبشكل عام تصل اعظم قيمه لمعامل القدره عند نسبه سرعه طرف الريشه لجميع سرع الرياح المختلفه^[5] وحيث ان قيمت الاحتكاك تزداد مع زياده سرعه الرياح وبالتالي تزداد قيمه المفاقيد في القدره وقد لوحظ ان جميع السرع تصل فيها اعلى كفاءه عند قيمه ($\lambda = 0.45$) للنموذج الثنائي وبما ان قيمه (λ) تساوي ($\omega D/V$) وان قطر التوربين ثابت لذا يجب التحكم بقيمه ($\omega D/V$) لغرض الوصول الى اعلى كفاءه اما بالنسبه لقيم اعلى كفاءه لسرع مختلفه لتوربينه رباعية الريش فتحدث عند ($\lambda = 0.221$) تعتبر قيمه نسبه سرعه طرف الريشه من الشروط المهمه للتشابه الديناميكي بين النموذج والاصل^[6] حيث يكون رقم رينولدز (احد شروط التشابه الديناميكي) ولكن تاثير رقم رينولدز في السرع العاليه قليل بحيث تاثيره يبدأ بالنقصان كما زادت سرعه الرياح والشكل رقم (4) والشكل رقم (5) يمثل العلاقه بين قيم رقم رينولدز والقيم العظمى للكفاءه عند قيمه نسبه سرعه طرف الريشه ($\lambda = 0.45$) و ($\lambda = 0.221$) وذلك لتوربين ثنائي والرباعي على التوالي حيث يلاحظ من الشكلين ان قيمه الكفاءه ثابتة

تقريبا عند سرع الرياح العاليه أي عندما يكون رقم رينولدز عالي وهذه النتائج موثقه من قبل باحثين سابقين [3] .

وقد تم تحديد عدد رينولدز من العلاقه التاليه :-

$$Re = VD/ \nu \dots\dots\dots(12)$$

حيث ان (Re) عدد رينولدز (Rynolds No.) (v) الزوجيه الكينماتيكيه للهواء (Kinematics) (Viscosity).

3-3 سرعة الرياح والسرعة الزاويه

باستخدام عدة سرع مختلفه للرياح وتسجيل قيم السرع الزاويه المقابله لها وقد تم تطبيق نفي السرع على النموذجين ورسمت العلاقه لكلا النموذجين يوضح ذلك الشكل رقم (6) يبين ان العلاقه بينهما علاقه طرديه حيث كلما زادت سرع الرياح زادة عدد الدورات التي يدور بها محور التوربين وعند توصيل امتداد خط العلاقه الطرديه لكل من التوربينين نلاحظ انها تقطع المحور السيني (x-axis) عند قيمه معينه لكل منهما وبذلك تكون هذه القيمه هي قيمه السرعه التي يسرع بها التوربين بالدوران أي ان دون هذه السرعه للرياح سوف لن يدور التوربين ويتبين من الشكل بان السرعه التي يسرع بها توربين ثنائي الريش هي (0.6 m/s) بينما يسرع التوربين رباعي الريش بالدوران عند سرعه رياح (1.6 m/s) ومن الطبيعي ان هذا يعود الى وجود قوه الاحتكاك في مسند محور الدوران التي تجعل كل من التوربينين لايسرعان بالحركه الا عند قيم السرع المذكوره اعلاه كما يلاحظ ان قيمة التي يشرع بها التوربين رباعي الريش بالدوران هي اكبر من السرعه التي يشرع بها توربين ثنائي الريش وهذا يعود الى وزن هذا النموذج اولا والذي يشكل زياده في قيمة قوه الاحتكاك وثنانيا التداخل في الريش الذي يجعل تاثير تيار الرياح قليل.

2- الاستنتاجات والتوصيات

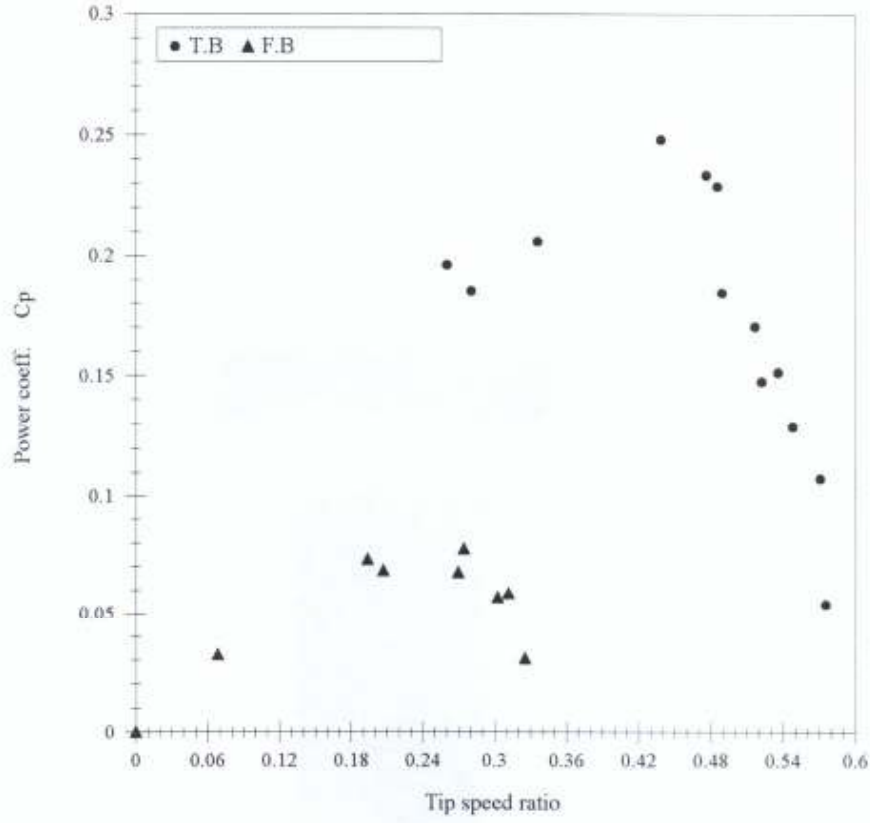
واهم استنتاج من هذه الدراسه هو ان :-

1. ان زياده مساحه التخميد في توربينات شاقوليه المحور من نوع سفانيوس بزياده عدد الريش (اربع ريش) يعمل على تقليل مقدار القدره المتحصل عليها وذلك لأن تداخل بين الريش سوف يقلل من تأثير التيار الريحي المار من خلال التوربين والذي هو السبب الرئيسي في توليد القدره على محور التوربين وبذلك يمكن الاخذ ننظر الاعتبار في مثل هذا النوع للتوربينات الرباعيه الحصول على قدره اكبر عن طريق زياده مساحه الريشه نفسها دون زياده عدد الريش وهذا الاسلوب الاخير الذي يكون مناسباً للتوربينات الريحيه ذات المحور الافقي (horizontal axis turbine) أي اسلوب زياده عدد الريش واذا اصبحت الزياده في مساحه الرشه تشكل عائق من ناحيه ابعاد

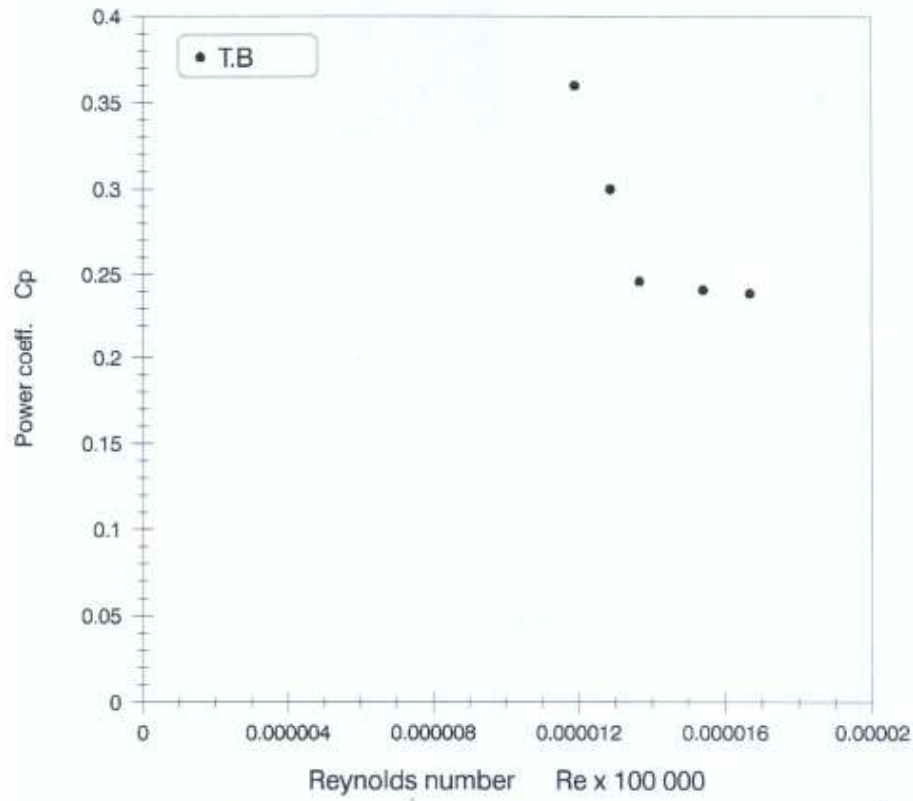
- التوربين ونسبه ابعاد الريشه العريضه (Aspect Ratio) عليه نوصي باستخدام اسلوب المراحل للتوربين الرباعي أي جعل مرحلتين لكل مرحله ريشتين.
2. استخدام طريقه لتشابه ديناميكي (Dynamic Simulation) بين النموذج الاصل لتحديد خواص الاداء واستخدام قيمه (y) كقيمه لابعديه في التشابه الديناميكي بدلا من (Re) حيث يكون تأثيره قليل في السرعة العاليه للرياح .
3. اجراء اختبار لنموذجين في نفق دخان (Smoke tunnel) لتحديد خواص الجريان من خلالهما واستخدام ذلك في ظاهرة هبوط الاداء لنموذج الرباعي كدراسه مستقبليه.

5-المصادر

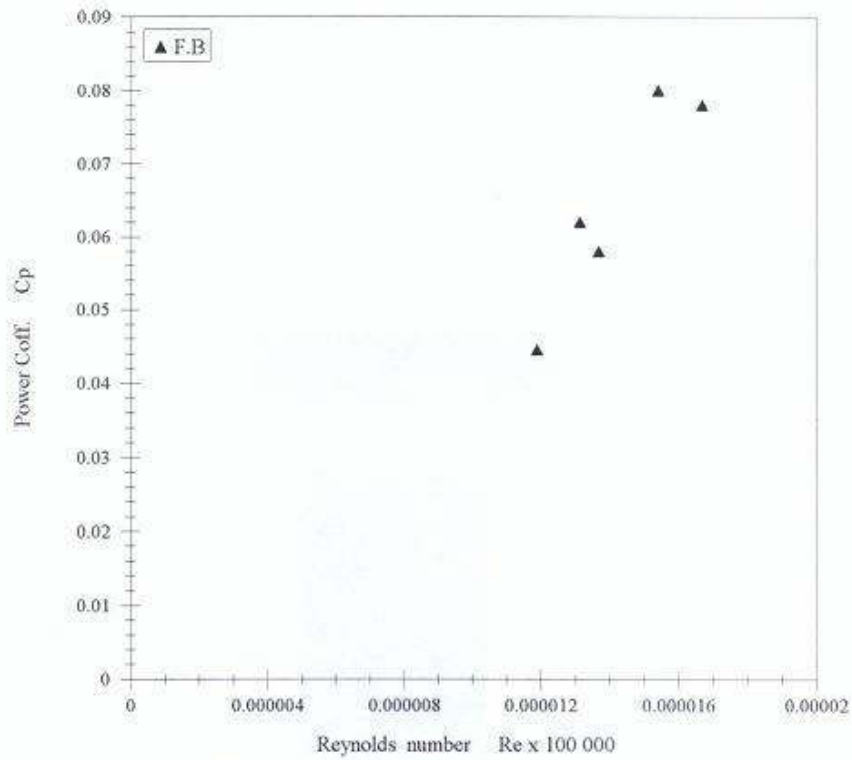
- [1] Deirele Le Gourieres “wind power plant theory and design” PERGANON Press, 1982.
- [2] Ahmed, G. “some preliminary results on the performance of a small vertical axis cylindrical wind turbine”, Wind Engineering, Vol .1 , No.2, 1978, pp 65- 74.
- [3] Sivasgaram, S “Design parameter affecting the performance of vertical axis rotor”, Wind engineering ,Vol., No.3, 1977, pp207-217.
- [4] Sheldahi , R. E. puackwell, B.F and L.V, “Wind tunnel performance data for two and three bucket Savonious rotor” , Journal of energy ,vol. 2, No.3, 1978 , pp 160-164.
- [5] Dhirgham A. Alkhafagiy, “ Study of wind energy and wind turbine test, M.Sc. Thesis, Sept, 1988.
- [6] Khan,H.M., “Model and prototype performance characteristics of Savonious rotor windmill”, Wind engineering, vol.2, No. 2,1978, pp75-85.
- [7] Roberson& Cowe, “Engineering Fluid Mechanics”, second edition.
- [8] Pop, a. and Harper , J.J, “Low speed wind tunnel testing”, John wily, New York, 1966.
- [9] Modi V.J., frenando, M.S.U.K, “One the performance of the Savonius wind turbine”, Trans., ASME, Vol.111, Feb. 1989, pp 71-81.



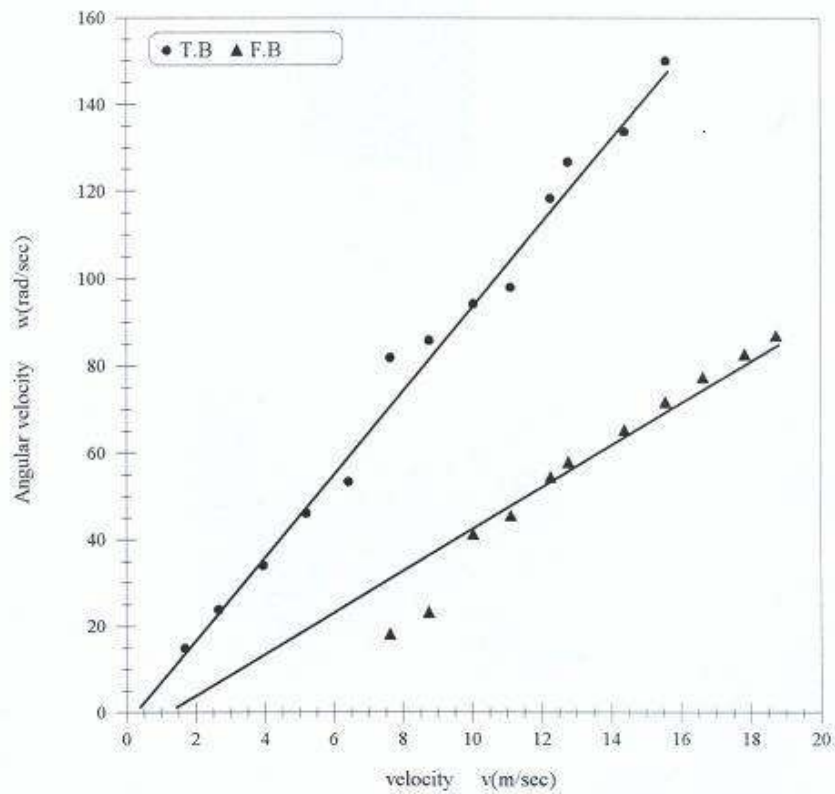
الشكل (3) علاقة معامل القدرة ونسبة سرعة طرف الريشة للنموذجين عند ($V = 15.593 \text{ m/s}$)



الشكل (4) علاقة معامل القدرة وعدد رينولدز للنموذج الثاني عند ($\lambda = 0.45$)



الشكل (5) علاقة معامل القدرة وعدد رينولدز للنموذج الرباعي عند ($\lambda = 0.221$)



الشكل (6) علاقة السرعة الزاوية وسرعة الرياح وبين سرعة الرياح اللازمة للشروع بالدوران للنموذجين