

Study of the Design of Offshore Wind Turbine Fans on the Syrian Coast

Dr. Feryal Eivo*
Dr. Muhammed Doured AlaaAldeen**
Ramez Ali Brbhan***

(Received 17 / 12 / 2019. Accepted 17 / 3 / 2020)

□ ABSTRACT □

During this research was the study of the design of the fans of the offshore wind turbines, through the study of the coefficients of drag and lift, with the aim of obtaining the optimal design that achieves higher values for lift coefficients, and lower values for the coefficients of drag, where the designs of the fans mh102 - mh104 - mh106 - mh108 - mh110, and these were compared A meme according to the values of the lift and drag coefficients, and was obtained through this study a new design for fans that achieves better values for these coefficients.

Keywords: wind turbine , lift coefficient , drag coefficient , xflr5 .

*Professor, Hydraulic and Irrigation Department Civil Engineering - Faculty of Civil Engineering - Tishreen University– Latakia - Syria

** Associate Professor, Hydraulic and Irrigation Department Civil Engineering - Faculty of Civil Engineering -Tishreen University – Latakia - Syria.

***Postgraduate Student (PhD.) - Hydraulic and Irrigation Department - Civil Engineering Faculty- Tishreen University – Latakia- Syria.

دراسة تصميم مراوح توربينات الرياح البحرية في الساحل السوري

د. فريال إيفو*

د. محمد دريد علاء الدين**

رامز علي بريهان***

(تاريخ الإيداع 17 / 12 / 2019. قُبِلَ للنشر في 17 / 3 / 2020)

□ ملخص □

تم خلال هذا البحث دراسة تصميم مراوح توربينات الرياح البحرية، من خلال دراسة معاملي السحب والرفع ، بهدف الحصول على التصميم الأمثل الذي يحقق قيم أعلى لمعامل الرفع، وقيم أقل لمعامل السحب ، حيث تم دراسة تصاميم المراوح mh102 – mh104 – mh106 – mh108 – mh110 ، وتمت مقارنة هذه التصاميم وفق قيم معاملي الرفع والسحب، وتم الحصول من خلال هذه الدراسة على تصميم جديد للمراوح يحقق قيما أفضل لهذه المعاملات .

الكلمات المفتاحية: توربينات الرياح ، معامل الرفع ، معامل السحب ، xflr5.

* أستاذ - قسم الهندسة المائية والري- كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين - اللاذقية -سورية.

** أستاذ مساعد - قسم الهندسة المائية والري- كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) -قسم الهندسة المائية والري- كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين- اللاذقية-سورية.

مقدمة:

تتميز الطاقات المتجددة باستغلال تدفقات الطاقة الطبيعية التي لا تنضب ولا تنبعث منها الغازات، فإنها ستكون الحل للسلبات الناتجة عن مصادر الطاقة الأحفورية، وتحديدًا ظاهرة الاحتباس الحراري، المرتبطة بالانبعاثات البشرية لغازات الاحتباس الحراري، وكذلك أزمة الطاقة الناتجة عن النقص في كمية الوقود الأحفوري. ومن أهم مصادر الطاقات المتجددة التي تحوز اهتمام الدول المتقدمة هي طاقة الرياح، حيث تتسابق هذه الدول في مجال توليد الطاقة الكهربائية من التوربينات الريحية. وبما أن سرعات الرياح في المناطق البحرية تكون أعلى منها في اليابسة، تتوجه أنظار الدارسين لتطوير توربينات الرياح البحرية، وتعد مراوح التوربينات من أهم العناصر التصميمية التي تؤثر على تقييم تصميم توربين الرياح، لذلك كان لابد من إجراء الأبحاث بشكل مستمر لتطوير تصميم مراوح التوربينات البحرية.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى دراسة تصميم شفرات التوربين بهدف تقليل معامل السحب وزيادة معامل الرفع، مما يؤدي بالنتيجة إلى تقليل قوة السحب الناتجة عن الرياح، وهي القوة التي تؤدي إلى زيادة الأحمال المؤثرة على برج التوربين، وبالتالي على الأساس التوربيني، وتقليل قيمة هذه القوة سيؤدي بالنتيجة إلى تقليل الإجهادات الناتجة عنها، كما سيؤدي ذلك بالنتيجة إلى زيادة قوة الرفع التي تسبب دوران شفرات التوربين الريحية، مما يؤدي بالتالي إلى زيادة كمية الطاقة الكهربائية التي يتم إنتاجها بواسطة هذا التوربين، وهذا هو الهدف الاقتصادي الرئيسي من إنشاء توربينات طاقة الرياح، فكلما زادت قيمة قوة الرفع المؤثرة على مراوح توربين الرياح، ستزداد قيمة عزم الدوران لمراوح التوربين، وبالتالي يزداد عدد دورات محرك توليد الطاقة الكهربائية.

طاقة توربينات الرياح:

عادةً ما يتميز خرج الطاقة لتوربينات الرياح بمنحنى الطاقة الذي يمثل العلاقة بين سرعة الرياح غير المضطربة عند ارتفاع المحور التوربيني، وخرج الطاقة للتوربينات. منحني الطاقة هو الوسيلة الأساسية لوصف أداء التوربينات. يظهر الشكل (1) منحني الطاقة.

السرعة الدنيا التي تبدأ عندها التوربينات الهوائية العمل هي 3.5 م/ثا، سرعة القطع هي أقصى سرعة للرياح يمكن أن تنتج عنها التوربينات الطاقة؛ نقطة القدرة هي سرعة الرياح التي ينتج عنها طاقة توربينات الرياح. تُحسب طاقة خرج التوربينات الريحية من العلاقة:

$$P = \frac{1}{2} \rho A U^3 C_p$$

حيث أن :

P : طاقة الخرج [Mwh]

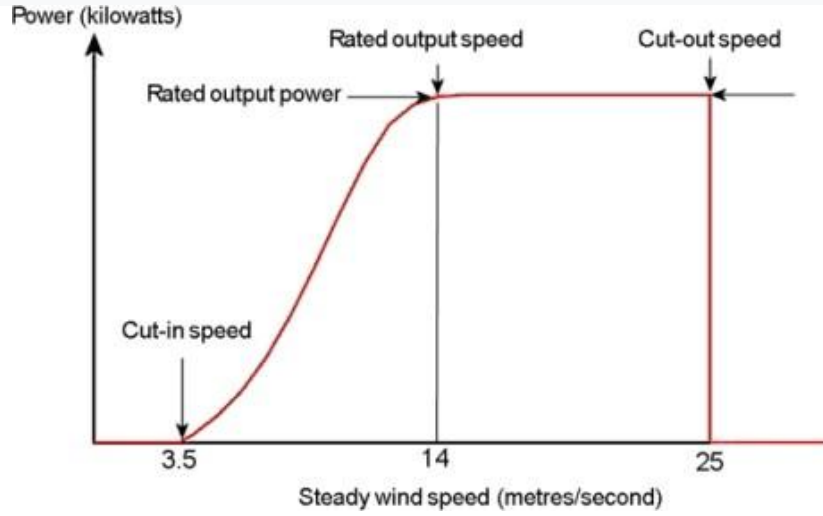
ρ : كثافة الهواء [Kg/m³].

A : مساحة المنطقة التي تشغلها مراوح التوربين [M²].

C_p : معامل طاقة التوربينات من الديناميكا الهوائية للمراوح [-].

U : سرعة الرياح [M/S] .

معامل طاقة التوربينات هو بارمتر شائع يستخدم لتقييم أداء توربينات الرياح.



الشكل (1) منحنى الطاقة - سرعة الرياح [1]

حد بيتز Betz limit:

طور Betz نموذجاً بسيطاً للتنبؤ بأداء مراوح السفينة وهذا النموذج يستخدم على نطاق واسع لتفسير مبدأ توربينات الرياح. افترض أن الهواء أحادي الأبعاد، غير قابلة للانضغاط، وثابت بالنسبة للزمن، وتم اعتماد هذا المبدأ لحساب قوة الدفع T على توربينات الرياح وفق العلاقة:

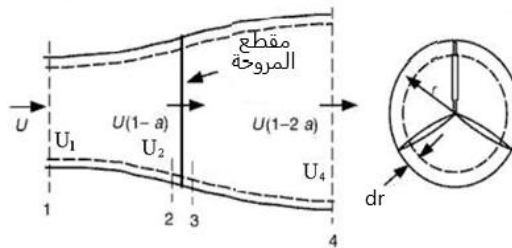
$$T = m'(U_1 - U_4) = U_1(\rho AU)_1 - U_4(\rho AU)_4$$

حيث:

T : قوة الرياح على توربينات الرياح.

m' : معدل تدفق الكتلة للهواء .

U₁، U₂، U₃، U₄: سرعة الرياح عند المقاطع 1 و 2 و 3 و 4 على التوالي.



الشكل (2) مقاطع تدفق الرياح عبر مراوح التوربين [2]

من معادلة برنولي لكل من المقطعين 1-2 ، 3-4 على التوالي نجد:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho U_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho U_2^2$$

$$P_3 + \frac{1}{2}\rho U_3^2 = P_4 + \frac{1}{2}\rho U_4^2$$

حيث p_1 و p_2 و p_3 و p_4 هو ضغط الهواء في المقطع الجانبي من 1 حتى 4 على التوالي. مع افتراض أن $p_1 = p_4$ و $U_2 = U_3$ ، يمكن أيضاً استنتاج الدفع على القرص:

$$T = A_2(P_2 - P_3) = \frac{1}{2} \rho A_2 (U_1^2 - U_4^2)$$

وبالتالي:

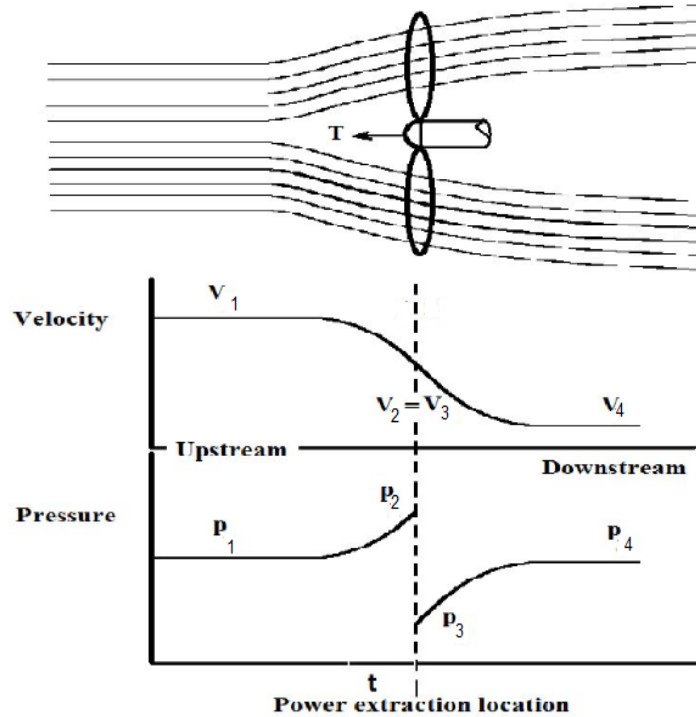
$$U_2 = \frac{(U_1 + U_4)}{2}$$

وبالتالي يتم تعريف عامل الحث المحوري (a) على أنه انخفاض السرعة من المقطع الجانبي (1) إلى المقطع الجانبي (2):

$$a = \frac{(U_1 + U_2)}{U_1}$$

فتكون قيمة الطاقة:

$$P = T \cdot U = \frac{1}{2} \rho A_2 U_1^3 4a(1 - a)^2$$



الشكل (3) قيم الضغط والسرعة عند المقاطع الأربعة [3]

عادة، يتم استبدال A_2 بـ A ، ويتم استبدال U_1 بـ U ، ويمثل أداء التوربينات الهوائية معامل القدرة C_p :

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho A U^3} = 4a(1 - a)^2$$

بعد حساب مشتق C_p للعثور على الحد الأقصى لـ C_p ، يمكن للمرء الحصول على فعالية التوربين الأعظمية $C_{p \text{ Max}} = 0.5926$ ، حيث $a = \frac{1}{3}$. هذا هو حد بيتز. لم يتم حتى الآن إنتاج توربينات رياح تصل فيها قيمة C_p إلى هذا الحد وما تزال هذه القيمة نظرية حتى تاريخنا هذا [5].

وبنفس الطريقة نجد:

$$T = \frac{1}{2} \rho A_2 U_1^2 4a(1-a)^2$$

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho A U^3} = 4a(1-a)$$

رقم رينولدز:

عدد رينولدز هو نسبة قوى العطالة في جملة مدروسة إلى قوى اللزوجة ويعطى بالعلاقة :

$$Re = \frac{U \cdot L}{\nu} = \frac{\rho \cdot U \cdot L}{\mu}$$

حيث :

μ : لزوجة الموائع [Pa.s].

P: كثافة الموائع [kg/m³].

ν : اللزوجة الحركية [kg . m⁻¹ . s⁻¹].

U: سرعة السائل الذي يمر سطح المروحة [m/s].

L: طول التدفق. سيتم استبدال L بطول الوتر c في شفرة توربينات الرياح [m].

نظراً للزيادة في حجم توربينات الرياح، يمكن أن يصل عدد رينولدز إلى قيم عالية جداً. تم دراسة تأثير رقم رينولدز على الأداء الديناميكي الهوائي، ونوقش تأثيره على التصميم الأمثل لتوربين الرياح بهدف زيادة معامل القدرة. أغلب الدراسات ركزت على خمسة أرقام رينولدز تتراوح بين 10³*(103-107) ، والتي تغطي معظم توربينات الرياح التجارية. في رقم رينولدز أعلى، تظهر جميع الأجنحة أداء أفضل، مثل معامل الرفع العالي، ومعامل السحب المنخفض، ونسبة الرفع إلى السحب الأكبر في زاوية معينة من الورد. تتغير أيضاً أكبر نسبة للرفع إلى السحب ومعامل الرفع المقابل وزاوية الورد مع رقم رينولدز، مما يؤثر بدوره على كل من الأداء والشكل الأمثل للشفرة. تشير النتائج إلى أن الشفرة العملية التي تعمل برقم رينولدز أعلى تتطلب شكلاً بزاوية انحناء أكبر، ولها معامل طاقة أفضل من تلك العاملة بأرقام رينولدز المنخفضة. [5]

الأحمال الأيروديناميكية:

تؤثر الرياح على كل من شفرات وبرج التوربين بأحمال أيروديناميكية، لحساب القوى المؤثرة على الشفرات لابد من دراسة كل من معامل الرفع ومعامل السحب، فبحساب هذين المعاملين يمكننا حساب قوى الرفع والسحب المؤثرة على مراوح التوربين.

معامل الرفع C_l :

يعطى معامل الرفع بالعلاقة:

$$C_l = \frac{\left(\frac{L}{l}\right)}{\left(\frac{1}{2} \rho u^2 c\right)}$$

حيث L هي قوة الرفع - / هو امتداد المروحة (c_r) .

معامل السحب C_d :

يعطى معامل السحب بالعلاقة:

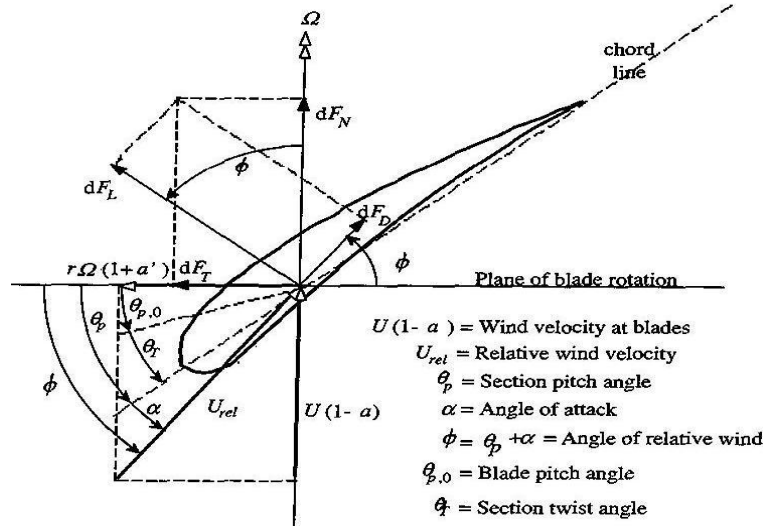
$$C_d = \frac{\left(\frac{D}{l}\right)}{\left(\frac{1}{2}\rho u^2 c\right)}$$

حيث C هو طول شفرة التوربين.

معامل الرفع ومعامل السحب في المروحة تابعان لزاوية ورود الرياح. في تصميم توربينات الرياح، يفضل المصممون معامل الرفع العالي ومعامل السحب المنخفض نسبياً عند زاوية ورود المنخفضة. [5]

بارامترات مروحة توربين الرياح:

في الشكل (4)، θ_P : زاوية ميل المقطع، $\theta_{P,0}$: زاوية ميل الشفرة عند الحافة، θ_T : زاوية انعطاف المقطع عند القمة، α : زاوية ورود الرياح، ϕ : زاوية الرياح النسبية (وهي الزاوية التي تصنعها الرياح مع مستوي دوران شفرات التوربين)، dF_L : تغير قوة الإقلاع، dF_D : تغير قوة الاحتكاك، dF_N : القوة الناطمية العمودية على مستوى الدوران، و dF_T : القوة المماسية لدائرة الدوار التي تساهم في توليد عزم الدوران، U_{rel} : سرعة الرياح النسبية.

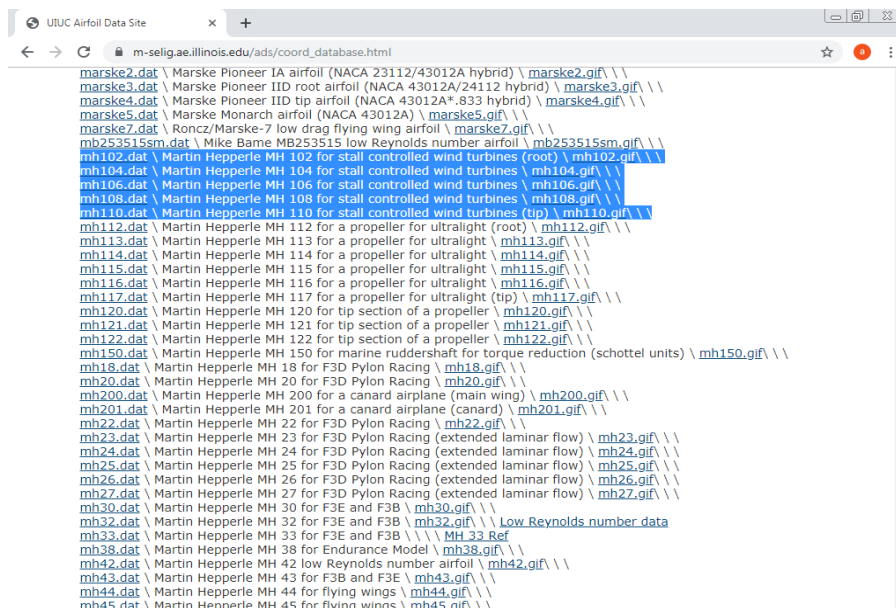


الشكل (4) بارامترات مروحة توربين الرياح [2]

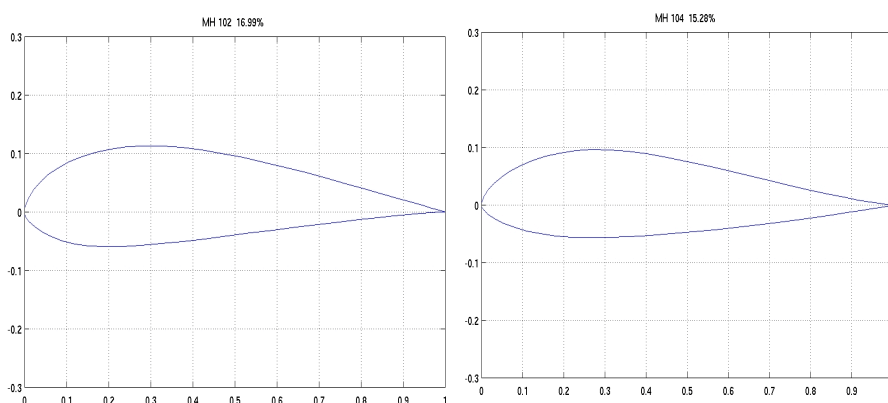
تصميم مراوح التوربينات الريحية:

إن معاملات الرفع والسحب هي انعكاس لتصميم مراوح التوربينات الريحية، وبالتالي فإن تصميم المروحة هو الذي يحدد قيم هذه المعاملات، لذلك لا بد من دراسة هذا التصميم.

قمنا بتحميل بيانات خمسة تصاميم لمراوح التوربينات الريحية: الشكل (5) [4] وهي [mh102 - mh104 - mh106 - mh108 - mh110] وقمنا بإجراء محاكاة لسلوك هذه الأجنحة على برنامج xflr5 وهو برنامج يستخدم لتصميم مراوح توربينات الرياح وإيجاد المنحنيات التي توضح العلاقة بين معاملات الرفع والسحب مع كل من زاوية ورود الرياح ورقم رينولدز كما توضح الأشكال (6)، (7)، (8)، (9)، (10)، بالترتيب.

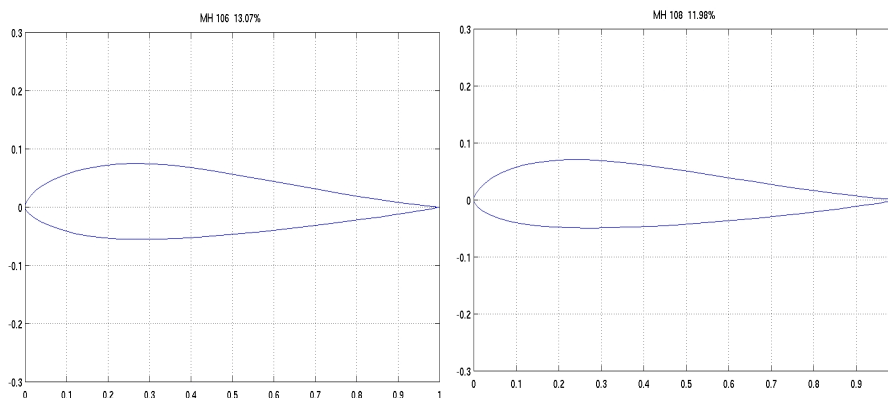


الشكل (5) تصاميم المراوح المختارة للدراسة



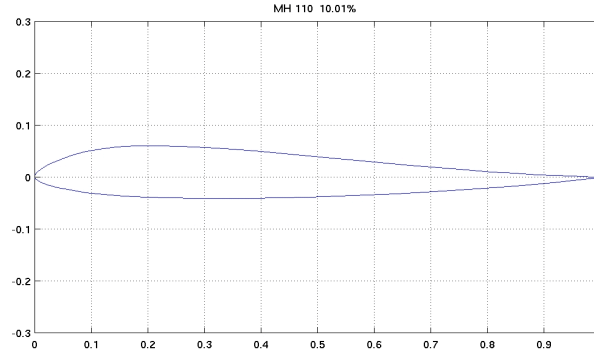
الشكل (7) تصميم المروحة mh104

الشكل (6) تصميم المروحة mh102



الشكل (9) تصميم المروحة mh108

الشكل (8) تصميم المروحة mh106

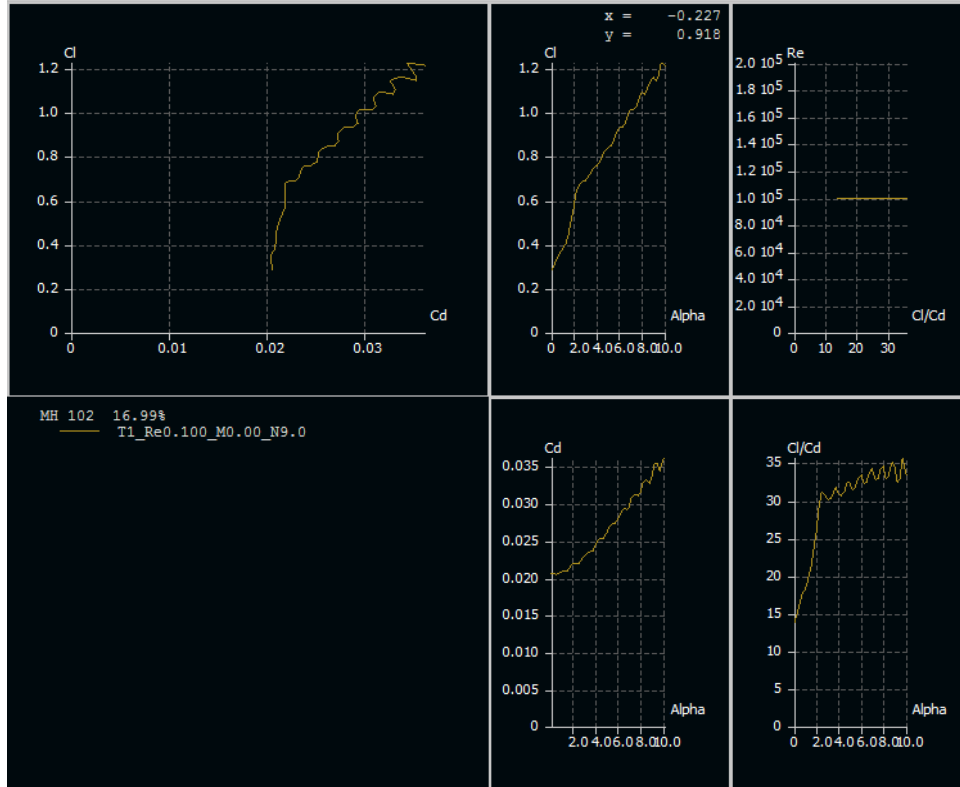


الشكل (10) تصميم المروحة 10mh1

تحليل تصميم مراوح التوربينات:

قمنا بتحميل بيانات هذه الأجنحة وتحليل سلوك كل تصميم على حدة باستخدام برنامج xflr5 بهدف دراسة تغير معاملات الرفع والسحب مع تغير زاوية ورود الرياح عند ثبات رقم رينولدز.

دراسة تصميم المروحة mh102 :



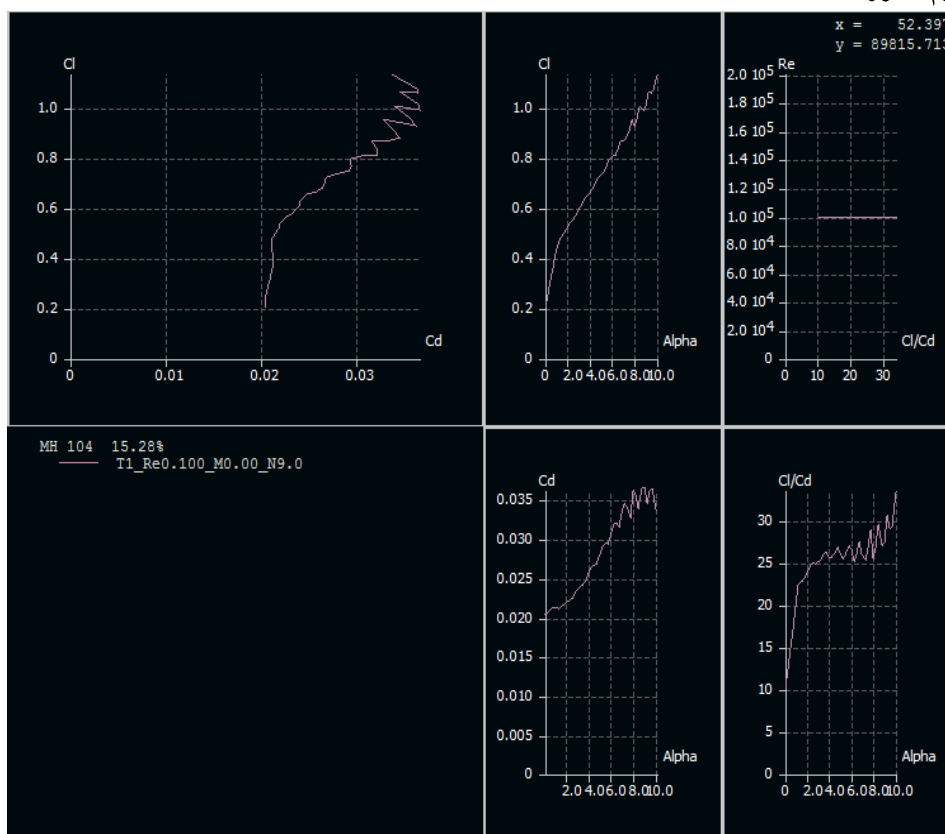
الشكل (11) تحليل سلوك المروحة mh102

نلاحظ من الشكل (12) أنه وبتغير زاوية ورود الرياح بين القيمتين [0-10] تزداد قيمة معامل الرفع بشكل لا خطي حتى تصل إلى القيمة 1.2 عند الزاوية 10 درجة، كما تزداد قيمة معامل السحب بشكل لا خطي عند زيادة زاوية الورد من [0-10] درجة حتى تبلغ القيمة 0.035 عند الزاوية 10 درجة، وبحساب النسبة $\frac{C_l}{C_d}$ نسبة معامل الرفع إلى معامل السحب ورسم العلاقة بين هذه النسبة وبين زاوية ورود الرياح نلاحظ أن هذه النسبة تزداد بين [0-2]

درجة بشكل شبه خطي وبمعدل زيادة كبير (حيث تزداد نسبة معامل الرفع إلى معامل السحب زيادة كبيرة عند زيادة صغيرة في زاوية ورود الرياح) لتبلغ القيمة 30 عند الزاوية 2 درجة ثم تتأرجح بعد ذلك قيمة هذه النسبة بشكل مضطرب بين القيمتين [30-35] بين زاويتي الورد [2-10] درجة. عندما تكون زاوية ورود الرياح مساوية للصفر:

$$C_l=0.2 , C_d=0.02 , \frac{C_l}{C_d} = 10$$

دراسة تصميم المروحة mh104 :



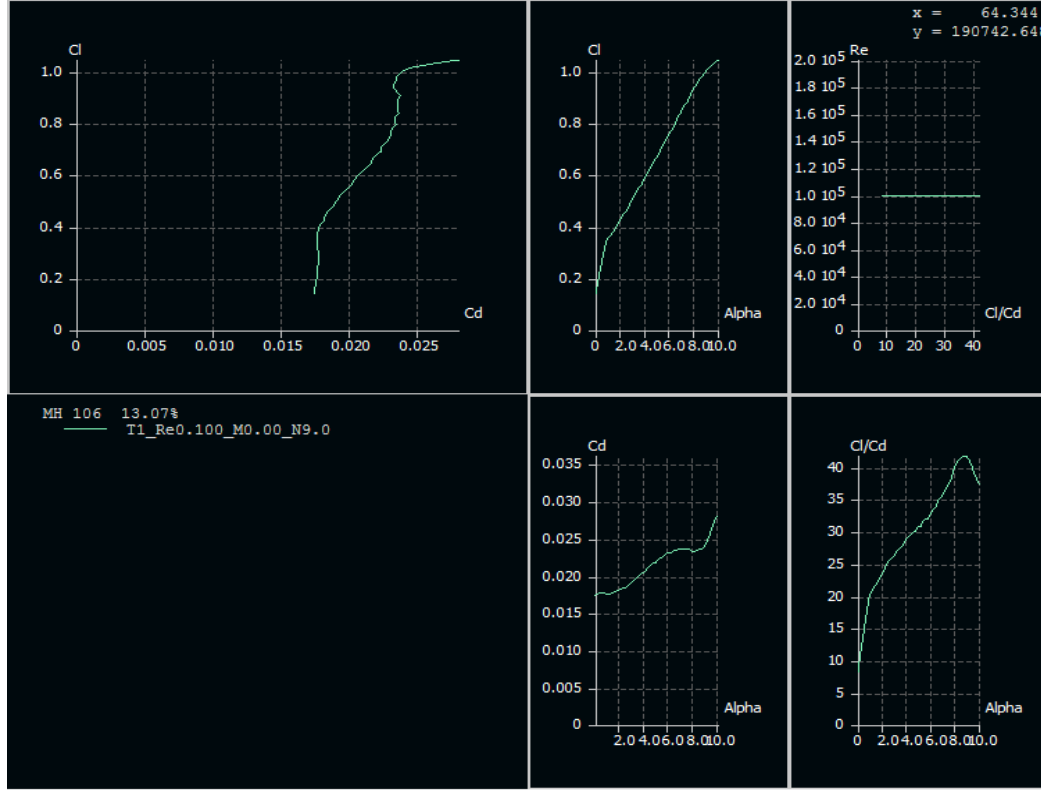
الشكل(12) تحليل سلوك المروحةmh104

نلاحظ من الشكل (12) أنه وبتغير زاوية ورود الرياح بين القيمتين [0-10] تزداد قيمة معامل الرفع بشكل لا خطي حتى تصل إلى ما دون القيمة 1.2 عند الزاوية 10 درجة، كما تزداد قيمة معامل السحب بشكل لا خطي عند زيادة زاوية الورد من [0-10] درجة حتى تتجاوز القيمة 0.035 عند الزاوية 10 درجة ، أما النسبة $\frac{C_l}{C_d}$ بين معامل الرفع إلى معامل السحب تزداد بين [0-1] درجة بشكل شبه خطي وبمعدل زيادة كبير لتبلغ القيمة 23 عند الزاوية 1 درجة ثم تتأرجح بعد ذلك قيمة هذه النسبة بشكل مضطرب بين القيمتين [23-35] بين زاويتي الورد [1-10] درجة .

عندما تكون زاوية ورود الرياح مساوية للصفر:

$$C_l=0.2 , C_d=0.02 , \frac{C_l}{C_d} = 10$$

دراسة تصميم المروحة mh106 :



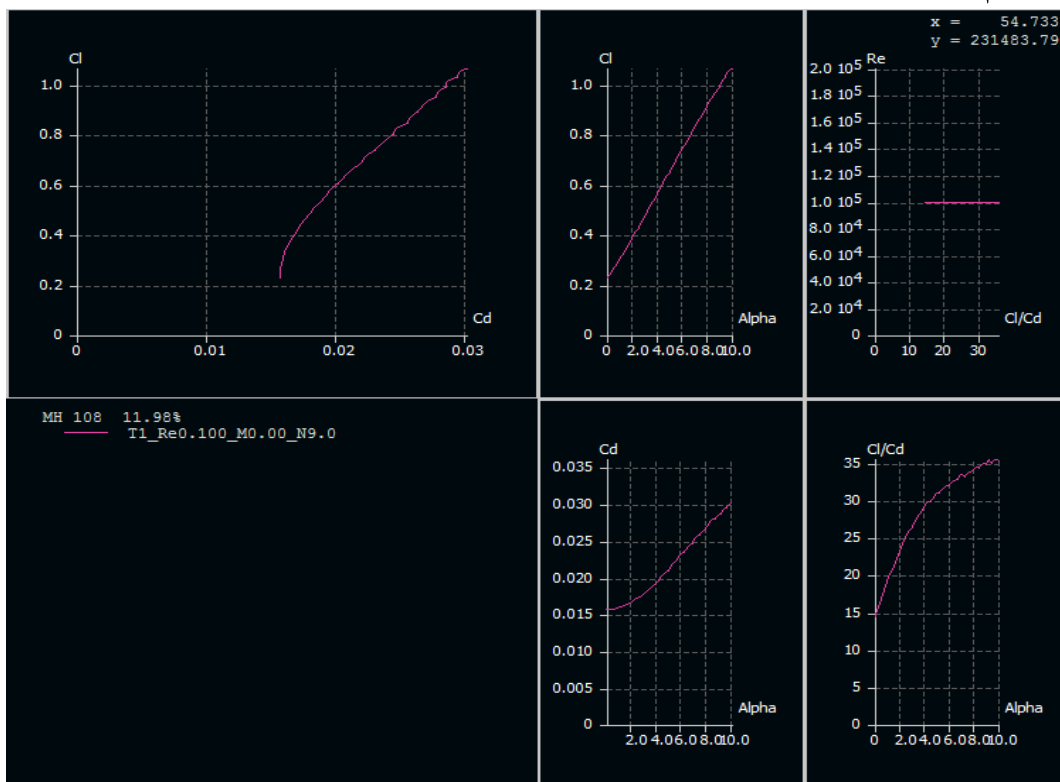
الشكل (13) تحليل سلوك المروحة mh106

نلاحظ من الشكل (13) أنه وبتغير زاوية ورود الرياح بين القيمتين [0-10] تزداد قيمة معامل الرفع حتى تصل إلى ما دون القيمة 1.1 عند الزاوية 10 درجة، ولكن هذه الزيادة تتم بشكل خطي بين الزاويتين [0-1] درجة وتتم بشكل شبه خطي بين الزاويتين [1-10] درجة، كما تزداد قيمة معامل السحب بشكل لا خطي عند زيادة زاوية الورد من [0-10] درجة حتى تبلغ القيمة 0.028 عند الزاوية 10 درجة، أما النسبة $\frac{C_l}{C_d}$ بين معامل الرفع إلى معامل السحب تزداد بين [0-1] درجة بشكل خطي وبمعدل زيادة كبير لتبلغ القيمة 20 عند الزاوية 1 درجة ثم تزداد بعد ذلك قيمة هذه النسبة بشكل طردي مع ازداد زاوية ورود الرياح بين القيمتين [20-42] بين زاويتي الورد [1-8.5] درجة ثم بعد ذلك تتناقص من 42 إلى 37 مع ازدياد زاوية الورد [8-10] درجة .

عندما تكون زاوية ورود الرياح مساوية للصفر:

$$C_l=0.18, C_d=0.018, \frac{C_l}{C_d}= 10$$

دراسة تصميم المروحة mh108 :



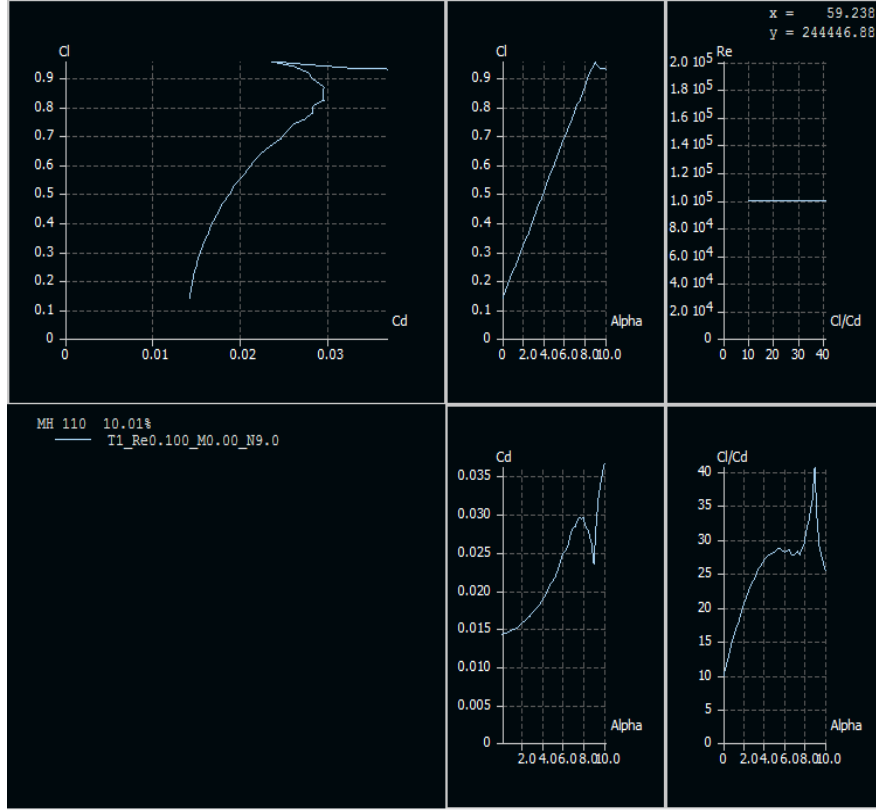
الشكل (14) تحليل سلوك لمروحة mh108

نلاحظ من الشكل (14) أنه وبتغير زاوية ورود الرياح بين القيمتين [0-10] تزداد قيمة معامل الرفع بشكل خطي حتى تصل إلى ما دون القيمة 1.1 عند الزاوية 10 درجة ، كما تزداد قيمة معامل السحب بشكل طردي عند زيادة زاوية الورد من [0-10] درجة حتى تبلغ القيمة 0.030 عند الزاوية 10 درجة ، أما النسبة $\frac{C_l}{C_d}$ بين معامل الرفع إلى معامل السحب تزداد بشكل طردي بين [0-10] درجة لتبلغ القيمة 35 عند الزاوية 10 درجة .

عندما تكون زاوية ورود الرياح مساوية للصفر تكون قيمة :

$$C_l=0.24 , C_d=0.016 , \frac{C_l}{C_d}= 15$$

دراسة تصميم المروحة mh110 :



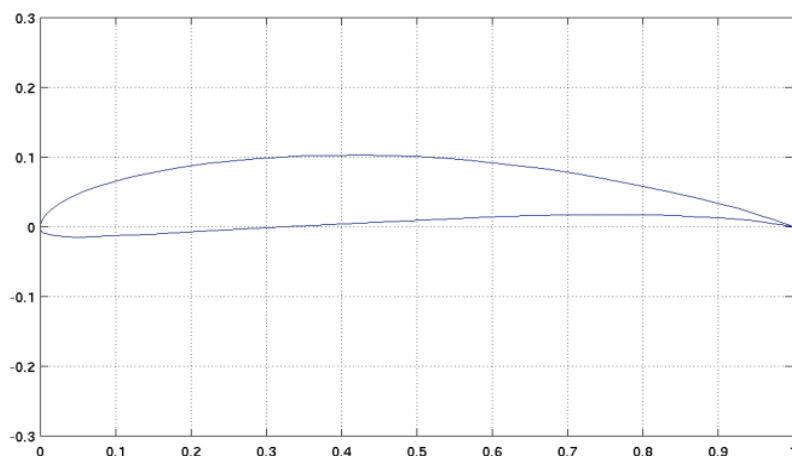
الشكل (15) تحليل سلوك المروحة mh110

نلاحظ من الشكل (15) أنه وبتغير زاوية ورود الرياح بين القيمتين [0-9] تزداد قيمة معامل الرفع بشكل خطي حتى تصل إلى ما دون القيمة 1 عند الزاوية 9 درجة، ثم تتناقص قليلاً لتستقر على القيمة 0.93 حتى الزاوية 10 درجة، كما تزداد قيمة معامل السحب بشكل لا خطي عند زيادة زاوية الورد من [0-8] درجة حتى تبلغ القيمة 300.0 عند الزاوية 8 درجة ثم تتناقص بعد ذلك بين الزاويتين [8-9] درجة حتى ما دون 0.025 ثم تزداد قيمته بين الزاويتين [9-10] حتى تتجاوز القيمة 0.035 عند الزاوية 10 درجة، أما النسبة $\frac{C_l}{C_d}$ بين معامل الرفع إلى معامل السحب تزداد بين [0-6] درجة حتى تبلغ القيمة 28 عند زاوية الورد 6 درجة، حيث تبقى مجاورة لهذه القيمة بين الزاويتين [6-8] ثم تزداد بعد ذلك قيمة هذه النسبة بشكل كبير مع ازدياد زاوية ورود الرياح بين القيمتين [28-40] بين زاويتي الورد [8-9] درجة ثم بعد ذلك تتناقص من 40 إلى 25 مع ازدياد زاوية الورد [9-10] درجة. عندما تكون زاوية ورود الرياح مساوية للصفر تكون قيمة :

$$C_l=0.15, C_d=0.015, \frac{C_l}{C_d} = 10$$

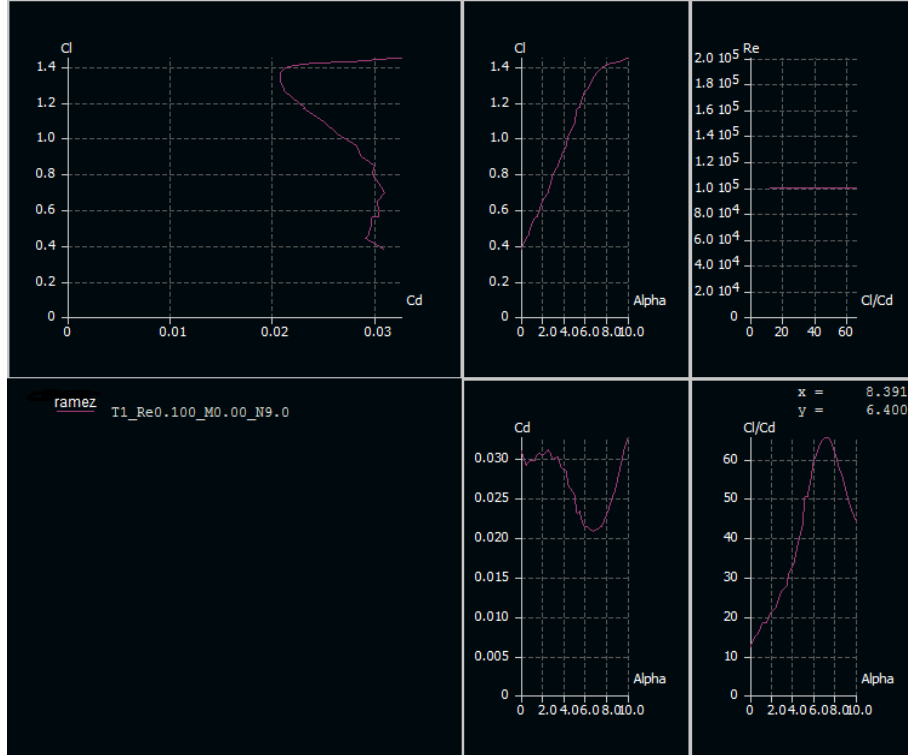
تصميم المروحة الجديدة:

من الملاحظ أن التصميم الخمسة متقاربة الانحناء ولكن إحداثيات تغيرات بسيطة في هذه التصميم أدى إلى تباينات واضحة في نتائج التحليل، وبينت نتائج التحليل أن المروحة mh106 هي الأفضل من حيث النسبة بين C_l, C_d حيث أن معامل الرفع يزداد بشكل شبه خطي من الزاوية 0 إلى الزاوية 8.5 بينما تزداد قيمة C_d مع ازدياد قيمة الزاوية أقل ما يمكن لذلك فإن النسبة $\frac{C_l}{C_d}$ هي أعظم ما يمكن في هذا المروحة عند تغير زاوية ورود الرياح.



الشكل (16) تصميم المروحة الجديدة بمقياس 0.25%

ولكن عند زوايا الورد المنخفضة تكون قيمة النسبة $\frac{C_l}{C_d}$ صغيرة نسبياً في هذا المروحة بينما تكون كبيرة نسبياً في المروحة mh108 بالإضافة إلى أن زيادة هذه النسبة أكثر استقراراً مع ازدياد زاوية ورود الرياح قمنا بالكثير من التجارب لمحاولة تصميم مروحة جديد يحقق عامل الرفع أعلى بالنسبة لعامل السحب ، وقد تمكنا من الحصول تجريبياً على تصميم جديد كما هو مبين في الشكل (16).
قمنا بتحليل سلوك هذا التصميم بنفس الطريقة وعند البارامترات نفسها كما هو مبين في الشكل (17) فلاحظنا أنه بتغير زاوية ورود الرياح بين القيمتين [0-10] تزداد قيمة معامل الرفع بشكل مستقر حتى تتجاوز القيمة 1.4 عند الزاوية 10 درجة ، أما قيمة معامل السحب فتكون كبيرة نسبياً عند الزاوية 0 درجة (0.030).



الشكل (17) تحليل تصميم المروحة الجديدة

ويحافظ معامل السحب على قيمته بين الزاويتين [0-3] درجة لكن قيمته تنخفض بين الزاويتين [7-3] حتى تصبح 0.021 عند الدرجة 7 لتعود بعد ذلك للارتفاع مع ازدياد زاوية ورود الرياح حتى تبلغ القيمة 0.033 عند الزاوية 10 درجة ، أما النسبة $\frac{C_l}{C_d}$ بين معامل الرفع إلى معامل السحب تزداد بين الزاويتين [0-7] درجة لتتجاوز القيمة 65 عند الزاوية 7 درجة ، لتعود بعد ذلك للانخفاض مع ازدياد زاوية الورد حتى تبلغ القيمة 44 عند الزاوية 10 درجة .

النتائج والمناقشة:

- 1- زيادة قيمة معامل الرفع في التصميم الجديد لمروحة التوربين البحري، حتى أصبحت قيمته الأعظمية 1.44.
- 2- تقليل قيمة معامل السحب في التصميم الجديد لمروحة التوربين، حتى أصبحت قيمته العظمى 0.33 وقيمته الدنيا 0.21.
- 3- النسبة $\frac{C_l}{C_d}$ بين معامل الرفع إلى معامل السحب تزداد بين الزاويتين [0-7] درجة لتتجاوز القيمة 65 عند الزاوية 7 درجة، وهذا سيؤدي بدوره إلى زيادة طاقة التوربين، كما سيؤدي إلى تقليل قيمة الإجهادات الناتجة عن الأحمال الأيروديناميكية و الهيدروديناميكية التي تؤثر على توربين الرياح البحري ضمن هذا المجال.

الاستنتاجات التوصيات:

- يمكن استخدام برنامج xflr5 بفعالية لتحسين معاملي السحب والرفع لتوربينات الرياح.
- يجب إجراء تجارب عند قيم مختلفة لرقم رينولدز ودراسة تأثيره على قيم هذه المعاملات.

- يجب إجراء الأبحاث بشكل مستمر لتحسين تصميم مراوح توربينات الرياح حيث يتيح برنامج xflr5 إجراء العديد من تجارب المحاكاة تبعاً لتغير قيم البارامترات المدروسة.
- لابد من دعم الدراسة النظرية (المحاكاة) التي تجرى بالبرنامج xflr5 بتجارب فيزيائية على نماذج مخبرية للتحقق من النتائج وقيم البارامترات المحلية الخاصة بالمنطقة .

References:

- 1- http://www.wind-power.program.com/turbine_characteristics.html
- 2-MEKHAIL, T.A, FADEEL, W.A, ELMAGID,W.M.A. *Experimental and CFD of Designed Small Wind Turbine*, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume(6) Issue (1) 2015 ,ISSN 2229-5518.
- 3-<https://image.slidesharecdn.com/windturbinebladeefficiency-61211213853/95/wind-turbine-blade-efficiency-1-638.jpg?cb=1535979845>.
- 4-<http://WWW.UIUC Airfoil Data SITE.COM>.
- 5- SONG, Q.*Design, Fabrication, and Testing of a New Small Wind Turbine Blade* . Canada, 2012 ,134 .

References:

- [1] 2-MEKHAIL, T.A, FADEEL, W.A, ELMAGID, W.M.A. *Experimental and CFD of Designed Small Wind Turbine*, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume(6) Issue (1) 2015 ,ISSN 2229-5518.
- [2] Safwan AlAssaf, *Towards Better Climatic Responses in Architectural and Urban Design*, College of Architecture, Al Baath University,2002.
- [3] 5- SONG, Q.*Design, Fabrication, and Testing of a New Small Wind Turbine Blade* . Canada, 2012 ,134 .
- [4] http://www.wind-power . program.com/turbine_characteristics.html
- [5] Safwan AlAssaf, *An Intelligent Spatial Data Base for Strategic Housing Management*, International Regional and Planning Studies / Middle East Forum, 1996, 41-61.
- [6] Levy, Francois. 2012. *BIM in Small-Scale Sustainable Design*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- [7] U.S. Energy Information Administration. 2009. *Annual Energy Review*. Washington, D.C.: U.S. Energy Information Administration.
- [8] *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling*, April 2008, by Eddy Krygiel, Brad Nies; foreword by Steve McDowell, FAIA, BNIM ISBN.
- [9] **Richard Davies** "BIM adoption towards the sustainability of construction industry in Indonesia" Conference: The 4th International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering (ICRMCE 2018) At: Surakarta, Indonesia
- [10] **AB Mohammed** "Applying BIM to achieve sustainability throughout a building life cycle towards a sustainable BIM model "International Journal of Construction Management May .2019
- [11] **Cristiane Bueno, Lucas Melchior Pereira & Márcio Minto Fabricio** "Life cycle assessment and environmental-based choices at the early design stages: an application using building information modelling" Architectural Engineering and Design Management 2018.