

# Improving the Aerodynamic Performance of Small Power Wind Turbine Blades using a Computer Program

Dr. Salah Dawood\*  
Mariam ghazal\*\*

(Received 6 / 7 / 2024. Accepted 7 / 8 / 2024)

## □ ABSTRACT □

A study was presented to improve the aerodynamic performance of small, horizontal-axis wind turbine blades operating at low wind speeds ( $V=4\text{m/s}$ ). A study was conducted based on the design and analysis methods for the aerodynamic aspect of a small, horizontal-axis wind turbine, using the program Qblade, whose software is based on The theory of momentum of the wing element BEM. Through the analysis, the aerodynamic section (SG6043) and its aerodynamic factors (lift coefficient, drag coefficient, optimal and critical angle of attack, and Reynolds number) were chosen so that the geometric shape of the turbine blades was obtained by optimizing both the twist angle and the chord value at various stations. Qatari. As for the aerodynamic analysis method, we conducted the analytical study to obtain the most important results obtained under the influence of the factors represented in the number of blades, peripheral speed, turbine radius and root radius on each of the power, torque, thrust force, and various parameters associated with them.

**Keywords:** wind turbine - aerodynamic performance - lift coefficient - drag coefficient - number of blades - Qblade program.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

\* Professor- Department of the Mechanical Power Engineering ; Faculty of Mechanical and Electrical Engineering ; Tishreen University ; Lattakia : Syria. Email: [salahdawoodsalah19@gmail.com](mailto:salahdawoodsalah19@gmail.com)

\*\*Master student ; Department of the Mechanical Power Engineering ; Faculty of Mechanical and Electrical Engineering ; Tishreen University ; Lattakia : Syria. Email: [Mariam.ghazal@tishreen.edu.sy](mailto:Mariam.ghazal@tishreen.edu.sy)

## تحسين الأداء الأيروديناميكي لشفرات عنفة ريحية صغيرة الاستطاعة باستخدام برنامج حاسوبي

د. صلاح داوود\*

مريم غزال\*\*

(تاريخ الإيداع 6 / 7 / 2024. قُبِلَ للنشر في 7 / 8 / 2024)

### □ ملخص □

تم تقديم دراسة لتحسين الأداء الأيروديناميكي لشفرات عنفة ريحية صغيرة أفقية المحور العاملة عند سرعة الرياح المنخفضة ( $V=4m/s$ ) حيث تم القيام بدراسة مبنية على طريقتي التصميم والتحليل الخاصة بالجانب الأيروديناميكي لعنفة هوائية صغيرة أفقية المحور ، باستعمال البرنامج Qblade الذي يعتمد في برمجياته على نظرية كمية الحركة - عنصر الجناح BEM . تم من خلال التحليل اختيار المقطع الأيروديناميكي (SG6043) والعوامل الأيروديناميكية الخاصة به ( معامل الرفع ومعامل السحب وزاوية الهجوم المثلى والحرجة ورقم رينولدز ) ليتم الحصول على الشكل الهندسي لشفرات العنفة من خلال تحسين كل من زاوية الالتفاف وقيمة الوتر في مختلف المحطات القطرية . أما فيما يخص طريقة التحليل الأيروديناميكي قمنا بإجراء الدراسة التحليلية للحصول على أهم النتائج المتحصل عليها تحت تأثير العوامل المتمثلة في عدد الشفرات ، السرعة الطرفية ، نصف قطر العنفة ونصف قطر الجذر على الكفاءة الأيروديناميكية.

الكلمات المفتاحية : العنفة الريحية - الأداء الأيروديناميكي - معامل الرفع - معامل السحب - عدد الشفرات - برنامج Qblade .

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

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

البريد الإلكتروني : [salahdawoodalah19@gmail.com](mailto:salahdawoodalah19@gmail.com)

\*\* طالبة ماجستير ، قسم هندسة القوى الميكانيكية ، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية ، جامعة تشرين ، اللاذقية ، سورية .

البريد الإلكتروني : [Marlam.ghazal@tishreen.edu.sy](mailto:Marlam.ghazal@tishreen.edu.sy)

**مقدمة:**

تعتبر طاقة الرياح كمصدر بديل من مصادر توليد الطاقة الكهربائية، بديلاً عن الوقود الأحفوري والنفط والغاز الطبيعي، فهذه المصادر تعد مصادر ضارة بالبيئة لما تولده من غازات سامة عند احتراقها، كما أنها تتميز بعدم توافرها في كافة مناطق العالم إضافة إلى تسببها بالحروب والكوارث على البشرية نتيجة لسعي كافة القوى العظمى للسيطرة على منابع النفط في العالم، عدا عن ارتفاع التكلفة وقرب نضوبها، في وقت يكون فيه العالم بأمر الحاجة للطاقة التي تولد الطاقة الكهربائية.

تستخدم طاقة الرياح في توليد الكهرباء عن طريق تحويل طاقة الحركة الموجودة في الرياح إلى طاقة كهربائية، كما ينظر لها على أنها تكنولوجيا متطورة، ففي المواقع ذات سرعات الرياح المرتفعة تكون تكلفة الإنتاج اقتصادية ومنافسة لتكنولوجيات الطاقة التقليدية، وبخاصة عند أخذ التأثيرات البيئية في الاعتبار وحساب أسعار الوقود المستخدم في المحطات الحرارية، وتسمى الآلات التي تعمل في توليد الكهرباء توربينات الرياح بخلاف نظيرتها المستخدمة في طحن الحبوب والتي يطلق عليها طواحين الرياح [1].

تصنف توربينات الرياح إلى نوعين، بناءً على محور التوربينات: (HAWTs) العنفات الريحية أفقية المحور، وهي أكثر شيوعاً و (VAWTs) العنفات الريحية رأسية المحور الأقل استخداماً. تم تنفيذ توربينات الرياح ذات المحور الأفقي (HAWT) على نطاق واسع للاستخدام التجاري نظراً لكفاءتها العالية مقارنة بالمحور الرأسي [2].

فيما يخص وقتنا الحالي وواقعنا الجغرافي و نظراً لما يشهده قطاع الطاقة كغيره من القطاعات الأخرى نتيجة الحرب والعقوبات المفروضة على سوريا الأمر الذي أدى إلى نقص كبير في كميات الفيول اللازمة لتشغيل محطات توليد الكهرباء. تعتبر العنفات ذات الاستطاعة الصغيرة والمتوسطة الحل المناسب والاقتصادي للاستفادة من موارد الرياح المحلية في تأمين الطاقة الكهربائية، حيث يتطلب تصميمها فهماً عميقاً لمعايير التصميم نظراً لأنها تظهر أداءً منخفضاً على عكس توربينات الرياح الكبيرة، كما تعتبر شفرات هذه العنفات العنصر الأكثر أهمية حيث تؤثر كفاءتها الأيروديناميكية على الأداء العام للنظام [3].

يتم تركيب توربينات الرياح الصغيرة لإنتاج الطاقة بغض النظر عن ظروف الرياح المواتية. الهدف الرئيسي في تصميم توربينات الرياح هو إيجاد الدوار الذي يلبي الشروط الأساسية المطلوبة. الشرط الأكثر أهمية هو الحصول على الدوار لتأمين طاقة الخرج المطلوبة بسرعة معينة. حيث أن توليد الطاقة من خلال توربينات الرياح يلعب دوراً حاسماً في تصميم الديناميكا الهوائية للدوار، والتي تتأثر بمعاملات أيروديناميكية مرتبطة بالشفرة [4]. تعتبر المعلمات المرتبطة بتحسين هندسة الشفرة مهمة، لأنه بمجرد تحسين الشفرات الدوارة الأقصر يمكن أن تنتج طاقة مماثلة للشفرات الأكبر والأقل تحسناً [5].

تعتبر التوربينات الريحية الصغيرة المنخفضة التكلفة وبسيطة التصنيع ذات تأثير حاسم في استخراج الطاقة في المناطق الريفية والسكنية، وتعتمد كفاءة الدوار بشكل أساسي على بروفایل الشفرة الذي يقوم بزيادة فرق الضغط على جانبي الشفرة لتخفيض سرعة الرياح القادرة على توليد العزم الأيروديناميكي المطلوب، يمكن تحسين هذا العزم ومعامل القدرة من خلال زيادة قوة الرفع ونسبة قوة الرفع للسحب. تعاني توربينات الرياح الصغيرة من تدفق جريان ذو رقم رينولدز منخفض بسبب صغر سطح الشفرة وانخفاض سرعة الرياح على عكس توربينات الرياح الكبيرة التي يتم وضعها في أماكن توفر الرياح عالية السرعة. والشفرة هي المكون الرئيسي لتوربينات الرياح وهي التي تستخرج الطاقة من الرياح، وتسهم أيضاً بنسبة (20-25)% من الميزانية الإجمالية لتوربينات الرياح [6].

قدم الباحثون الكثير من الدراسات لتحسين الأداء الأيروديناميكي للعنفات الريحية وركزت العديد من الأبحاث على تحسين تصميم ريش توربينات الرياح الصغيرة وتم تطوير العديد من العناصر لمحاكاة الديناميكية الهوائية. فمنهم من اعتبر التحسين الهيكلي أمراً بالغ الأهمية للشفرات الصغيرة العاملة عند سرعات الرياح المنخفضة وذلك لأن البدء يعتمد على الديناميكية الهوائية التي تولدها شكل الشفرة و يتم تحسينه بواسطة قصور الشفرة المنخفض ، والذي يعتمد على الشكل والمواد وتقنية التصنيع. تم اختيار مجموعة من المواد والاعتماد على طرق وتقنيات تصنيع مختلفة للحصول على أهداف متعددة كبدء التشغيل السريع ، واستخراج الطاقة بكفاءة ، والضوضاء المنخفضة ، والحد الأدنى من الكتلة [7,8,9] . ومنهم من قام بتحسين الأداء الأيروديناميكي اعتماداً على البروفائل المستخدمة. فمنهم من قام بتقسيم الشفرة الى ثلاثة أقسام و تحديد أفضل بروفائل مع زوايا هجوم مثالية مع اعتبار أن توزيع الوتر والتوزيع النسبي لزوايا الرياح وطول الشفرة وعدد الشفرات ثابتة. ومنهم من قام بإجراء دراسة تحليلية لعدد من البروفائل، ثم اختيار أربعة منها تحقق أفضل أداء أيروديناميكي عند الظروف التصميمية ، ثم تصميم دوارين باستخدام نفس معايير الأداء، عن طريق مزج بروفائلين من هذه البروفائل في كل دوار احدهما سميك والأخر رفيع ومنهم من قام باختبار عدة بروفائل مختلفة واختيار البروفائل الذي يحقق أداء أفضل عند سرعة الرياح المدروسة [10,11,12] .

ومنهم من قام بتحسين الأداء الأيروديناميكي اعتماداً على تحسين طول الوتر وزاوية الالتفاف، حيث قام بعضهم باختبار أشكال هندسية مختلفة اعتماداً على تغيير طول الوتر ومنهم من قام بتحسين طول الوتر وزاوية الالتفاف بالاعتماد على خوارزميات جينية وشبكات عصبونية ومعايير هندسية [13,14,15].

بينما في بحثنا الحالي تم تقديم دراسة لتحسين الأداء الأيروديناميكي للعنفات الريحية الصغيرة عند سرعات رياح أقل من 5m/s وذلك اعتماداً على اختيار البروفائل الذي يحقق أفضل أداء أيروديناميكي عند سرعة الرياح المدروسة ثم تحسين طول الوتر وزاوية الالتفاف للحصول على أفضل أداء واعتماداً على الدراسة المرجعية [16] الذي تم اختبار زيادة عدد الشفرات لعنفه ريحية صغيرة وتأثيرها عند سرعات رياح مختلفة تجريبياً قمنا بإجراء دراسة تحليلية ودراسة تأثير زيادة عدد الشفرات عند سرعة الرياح المدروسة بعد إجراء التحسينات اللازمة في طول الوتر وزاوية الالتفاف كما تم دراسة تأثير كل من السرعة الطرفية ونصف قطر العنفة ونصف قطر الجذر على الأداء الأيروديناميكي.

### أهمية البحث وأهدافه:

الاستفادة من موارد الرياح المحلية في تأمين الطاقة الكهربائية ، ولاسيما بعد خروج العديد من محطات الطاقة عن الخدمة ، مما يجعل هذه العنفات ذات أهمية كبيرة تجاه ترميم ما دمرته الحرب، واستبدال الوقود الأحفوري بطاقة نظيفة وصديقة للبيئة.

تحسين الأداء العام للعنفات الريحية الصغيرة العاملة عند سرعات رياح منخفضة من خلال تحسين الأداء الأيروديناميكي للشفرات ، مما يجعلها مصدر طاقة موثوق به (كفاءة عالية، وعمر خدمة أطول) يمكن الاعتماد عليها في ظل تزايد الطلب والاعتماد على الطاقة.

وبناءً عليه تهدف هذه الدراسة إلى تصميم ومحاكاة شفرات عنفة ريحية صغيرة تستخدم لتوليد الكهرباء عند سرعات الرياح المنخفضة السائدة في بلادنا (أقل من 5m/s) وتحسين التصميم بما يحقق أعلى أداء أيروديناميكي ممكن.

**طرائق البحث ومواده:**

تم في هذه الدراسة الاعتماد على طريقتي التصميم والتحليل الخاصة بالجانب الأيروديناميكي لعنفة هوائية صغيرة أفقية المحور ، باستعمال البرنامج Qblade الذي يعتمد في برمجياته على نظرية كمية الحركة عنصر الجناح BEM من خلال التحليل تم اختيار المقطع الأيروديناميكي SG6043 والعوامل الأيروديناميكية الخاصة به ( معامل الرفع ومعامل السحب وزاوية الهجوم المثلى والحرجة ورقم رينولدز ) ليتم الحصول على الشكل الهندسي لشفرات العنفة من خلال تحسين كل من زاوية الالتفاف وقيمة الوتر في مختلف المحطات القطرية . أما فيما يخص طريقة التحليل الأيروديناميكي تم إجراء الدراسة التحليلية للحصول على أهم النتائج المتحصل عليها تحت تأثير العوامل المتمثلة في عدد الشفرات ، السرعة الطرفية ، نصف قطر العنفة ونصف قطر الجذر على الأداء الأيروديناميكي للعنفة الريشية.

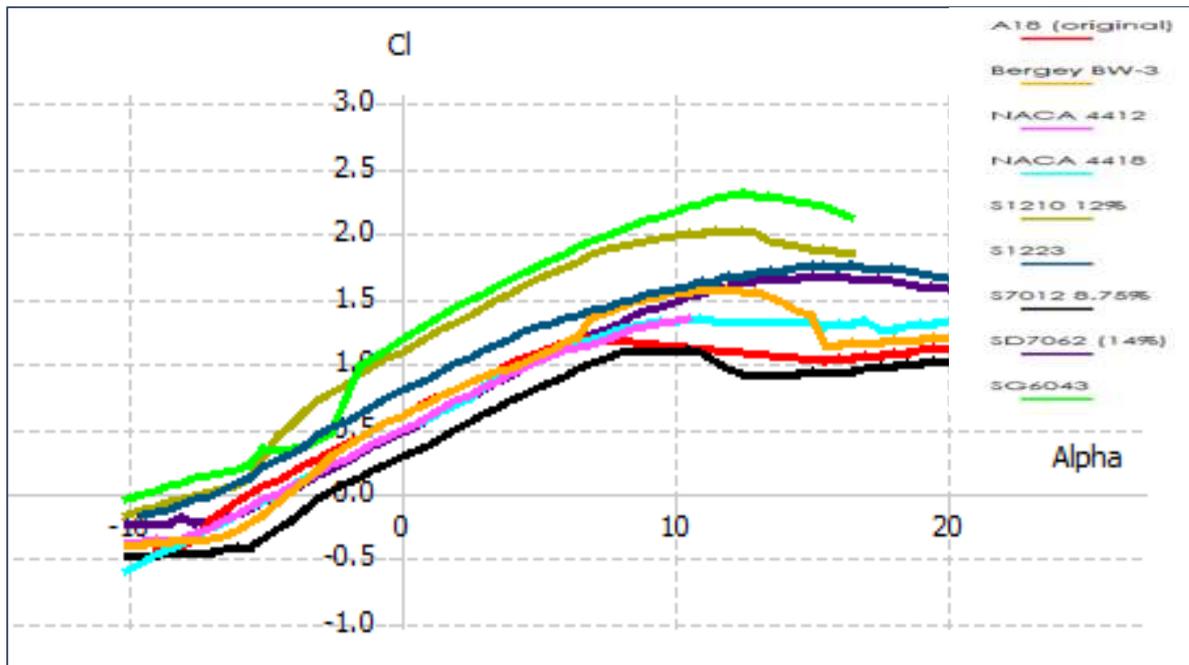
**1- تصميم البروفائل واختياره :**

تتشأ قوى الرفع والسحب من حركة جسم على شكل بروفايل (جنح ) في سائل وتميز أداء الشفرة . يمكن الحصول على الرفع الأمثل من خلال زاوية الهجوم وتكيف شكل البروفائل . تتوفر العديد من البروفائل القياسية التي يمكن من خلالها تطوير ملفات تعريف شفرات توربينات الرياح ذات المحور الأفقي الصغيرة.

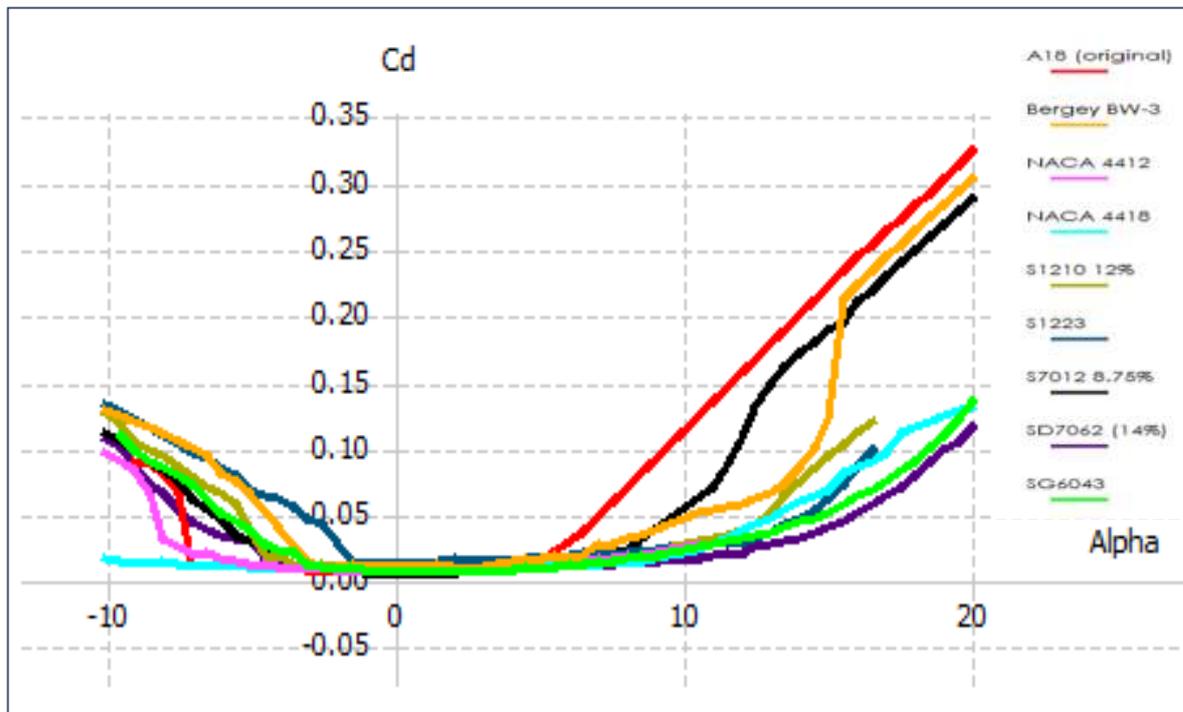
يجب دراسة المفاهيم الديناميكية الهوائية المرتبطة بالبروفائل المختارة حيث يؤثر السلوك الديناميكي الهوائي والوزن المنخفض والموثوقية الهيكلية للشفرة على اختيار البروفائل المناسبة. في دراستنا تم اختيار البروفائل الأفضل بعناية من مجموعة أولية مكونة من تسعة بروفايلات والتي تم اختيارها وفقاً للمسوحات وظروف الرياح في الموقع والطاقة المطلوبة والتطبيقات ، ونظراً لأن موقع توربينة الرياح المدروسة كان في موقع ذو سرعة رياح وسطية منخفضة أي في موقع رقم رينولدز منخفض فقد تم اختيار المجموعة التالية من البروفائل ( **A18 – BW-3 – NACA** )

**4412 – NACA 4418 – S1210 – S1223 – S7012 – SD7062 – SG6040** )

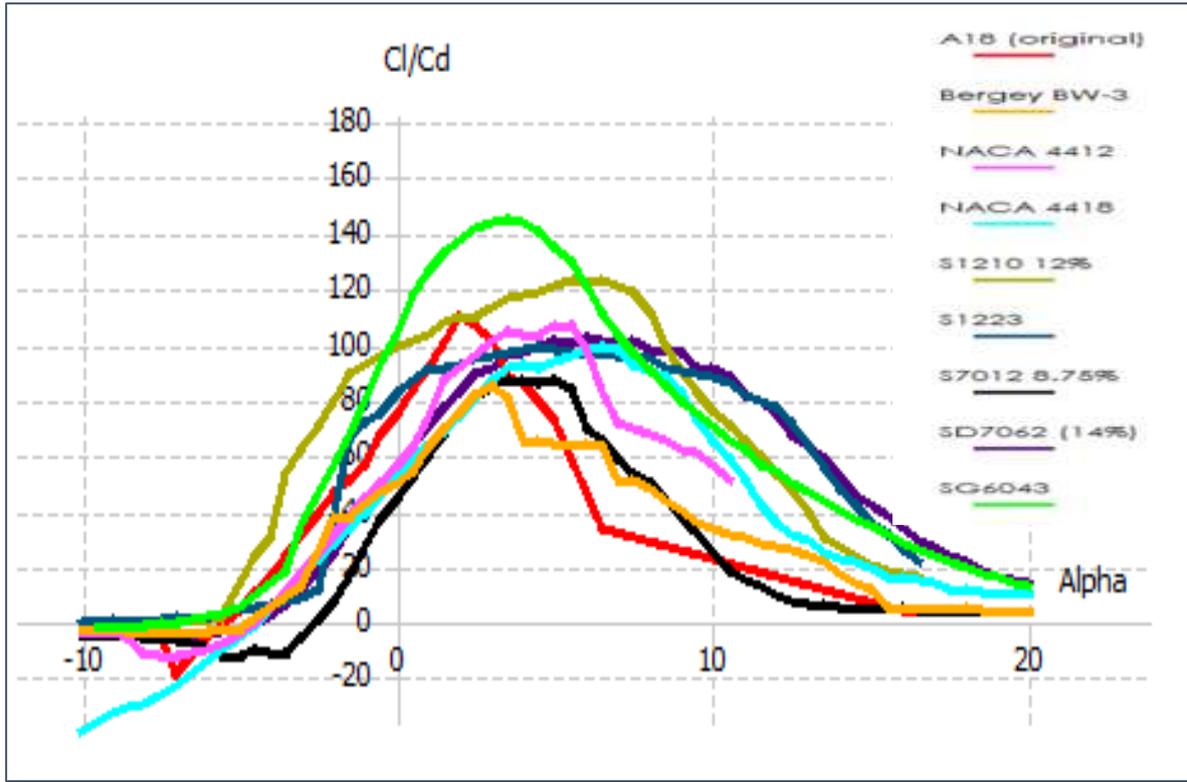
وهي بروفايلات تم تطويرها لتوربينات الرياح الصغيرة تتميز برفع متميز بالنسبة للسحب وهو أمر ضروري لزيادة إنتاج الطاقة حيث يتأثر عزم دوران الدوار وتوليد الطاقة بنسبة الرفع الى السحب خاصة عند سرعة الرياح المنخفضة . تم الحصول على ملفات ال DAT لكل بروفايل من الموقع Airfoil Tools ذو المصدر UIUC Airfoil وهو موقع خاص بالبروفائل يمكن من خلاله معرفة ميزات ومواصفات كل بروفايل كما يوضح احداثيات كل بروفايل على نطاق مختلف من أرقام رينولدز. بعد الحصول على هذه الملفات تم إدخالها الى برنامج ال Qblade لإجراء الدراسة التحليلية .



الشكل (1): مقارنة معامل الرفع للبروفايلات المختارة عند رقم رينولدز  $Re=5*10^5$  على نطاق مختلف من زوايا الهجوم ( $\alpha$ )

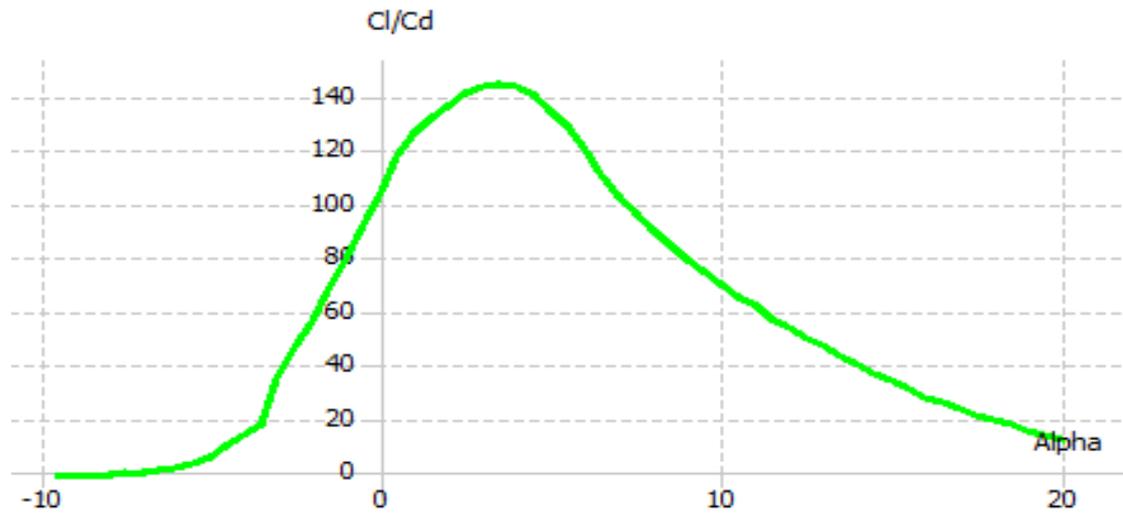


الشكل (2) : مقارنة معامل السحب للبروفايلات المختارة عند رقم رينولدز  $Re=5*10^5$  على نطاق مختلف من زوايا الهجوم ( $\alpha$ )



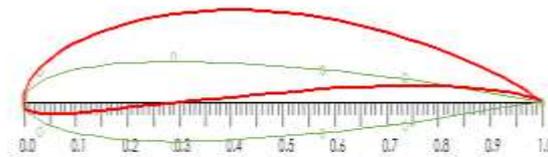
الشكل (3) : مقارنة نسبة معامل الرفع الى معامل السحب للبروفايلات المختارة عند رقم رينولدز  $Re=5*10^5$  على نطاق مختلف من زوايا الهجوم (Alpha)

نلاحظ أن معامل الرفع ومعامل السحب متقاربان في المدى الأول لزوايا الهجوم ، ومع ذلك فقد أصبحا مختلفين بشكل واضح في النطاق الذي تكون فيه زاوية الهجوم خلف زاوية فصل التدفق وبين الشكل (2) أنه بعد هذه الزاوية يزداد معامل السحب بشكل حاد . زاوية الهجوم عند نقطة الفصل لها قيم مختلفة بسبب اختلاف أشكال البروفايلات بالنسبة لجميع البروفايلات المختارة لشفرات توربينات الرياح الأفقية الصغيرة مع زيادة زاوية الهجوم يزداد معامل الرفع حتى تتغير زاوية معينة ؛ ووفقاً لشكل البروفايل فإن معامل الرفع يبدأ بالتناقص بسبب انفصال التدفق عند هذه الزاوية . يتمتع البروفايل SG6043 بأعلى معامل رفع ويحدث فصل التدفق عند زاوية الهجوم 12 . توضح الأشكال (1،2،3) أن البروفايل SG6043 يتمتع بأفضل أداء تقريباً لجميع نطاق العمل لزوايا الهجوم ؛ ولذلك تم اختياره لبناء النموذج المدرس . قد لا يحتوي البروفايل المحدد على أدنى مستوى من (السحب) Cd ولكنه يحتوي على نسبة عالية بما يكفي من (الرفع) Cl للتعويض عن هذا العيب وإعطاء أعلى نسبة Cl/Cd حيث تعتبر نسبة الرفع الى السحب الأكبر أحد أهم الأهداف في التصميم



الشكل (4) : نسبة الرفع الى السحب على نطاق مختلف لزوايا الهجوم للبروفائل SG6043

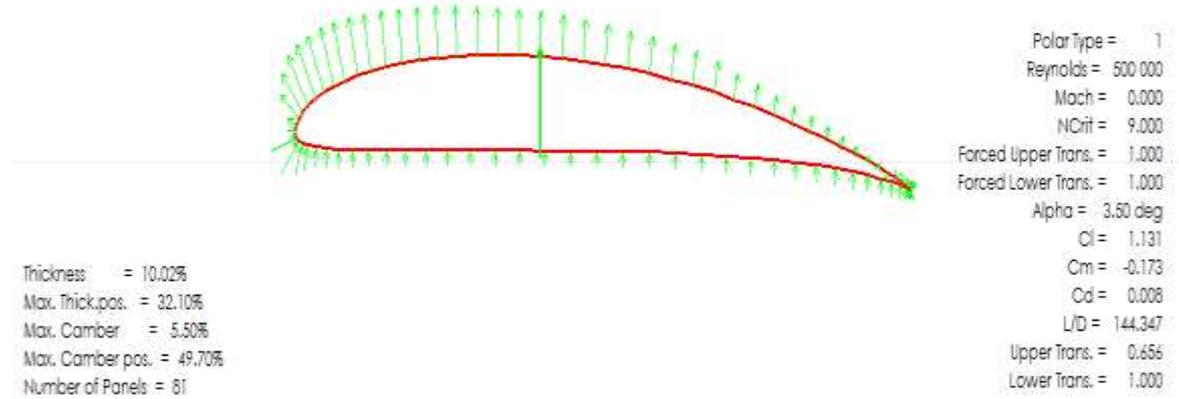
بالنسبة للبروفائل SG6043 يوضح الشكل (4) التباين في نسبة معامل الرفع الى معامل السحب مع زاوية الهجوم . تشير النسبة القصوى التي تم تحقيقها عند زاوية الهجوم (3.5) درجة إلى أن الرفع قد تم تحقيقه بشكل كبير مقارنة بالسحب ، وهو أمر مرغوب فيه في تصميم توربينات الرياح الصغيرة حيث يتأثر عزم دوران الدوار وتوليد الطاقة بنسبة الرفع الى السحب خاصة عند سرعة الرياح المنخفضة. يظهر الشكل (5) المقطع العرضي للبروفائل(الجنح) الذي تم اختياره بعد ادخاله الى برنامج ال Qblade ويظهر الاحداثيات المتعلقة بهذا البروفائل من السماكة والتحدب وموضع الحصول على أقصى سمك وأقصى تحدب كما يمكننا التحكم بأنماط البروفائل ( خط ولون وعرض البروفائل ).



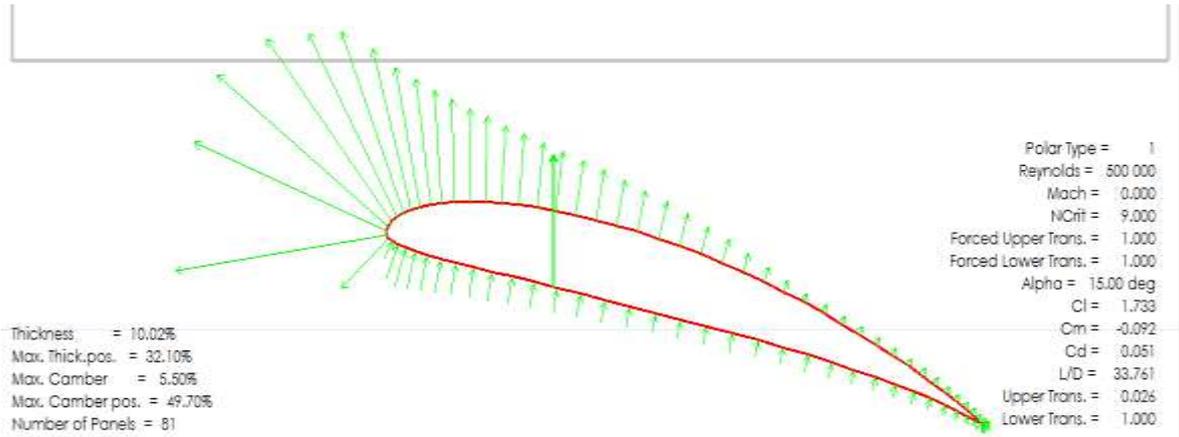
Name	Thickness (%)	at (%)	Camber (%)	at (%)	Points	TE Flap (deg)	TE XHinge	TE YHinge	Show	Points	Centerline	Style
1 Spinefoil	9.03	31.20	-0.00	35.10	60	0.00	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2 SG6043	10.02	32.10	5.50	49.70	81	0.00	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

الشكل (5) : احداثيات البروفائل المختار SG6043

يتم ادخال بيانات البروفائل SG6043 في برنامج ال Qblade للحصول على توزيع الضغط على السطح العلوي والسفلي للبروفائل وظروف الطبقات الحدودية حيث توضح الأشكال (6،7) اختلاف توزيع القوى على الجناح في الحالتين وتأثيرها على معاملات الرفع والسحب والعزم ونسبة الرفع الى السحب وهذا سببه الإختلاف في زاوية الهجوم التي تتعلق بتغير الضغط على الجناح .



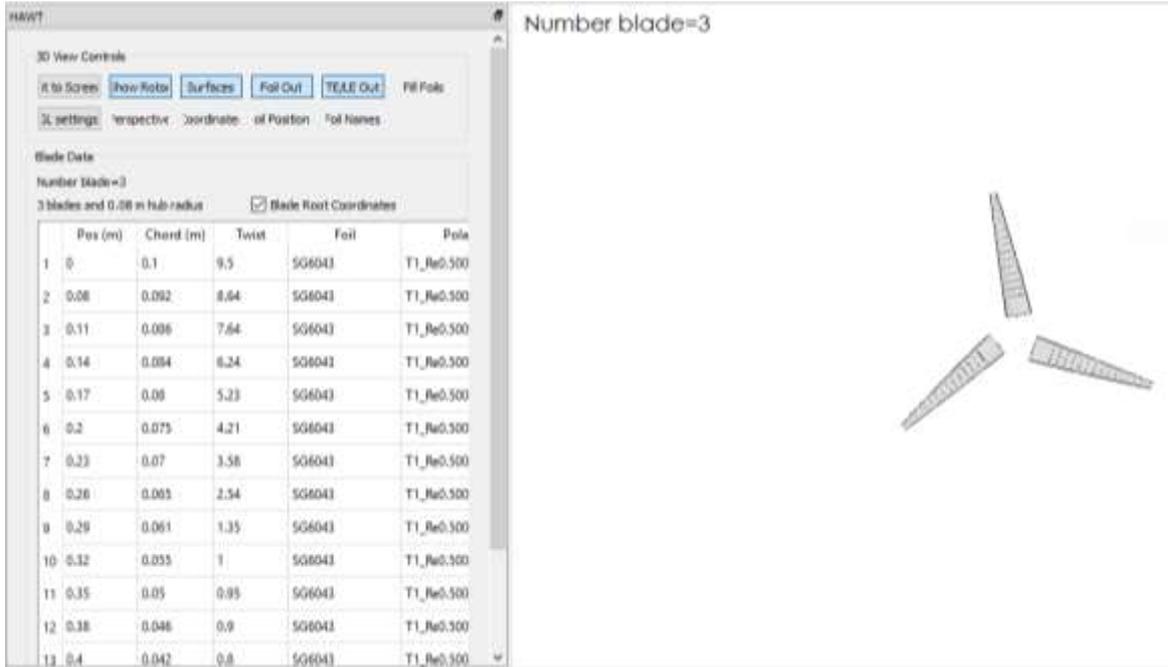
الشكل (6) : توزيع الضغط على السطح العلوي والسفلي للبروفائل عند زاوية الهجوم المثلى



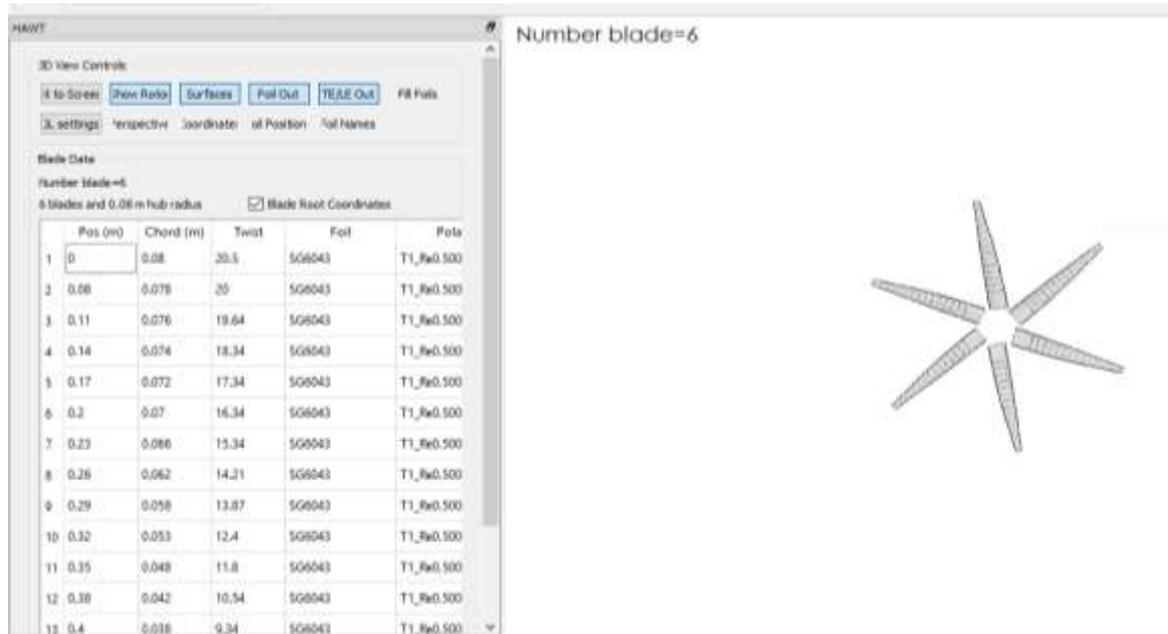
الشكل (7) : توزيع الضغط على السطح العلوي والسفلي للبروفائل عند انفصال الطبقة الحدية

#### 5- تصميم شفرات التوربينة :

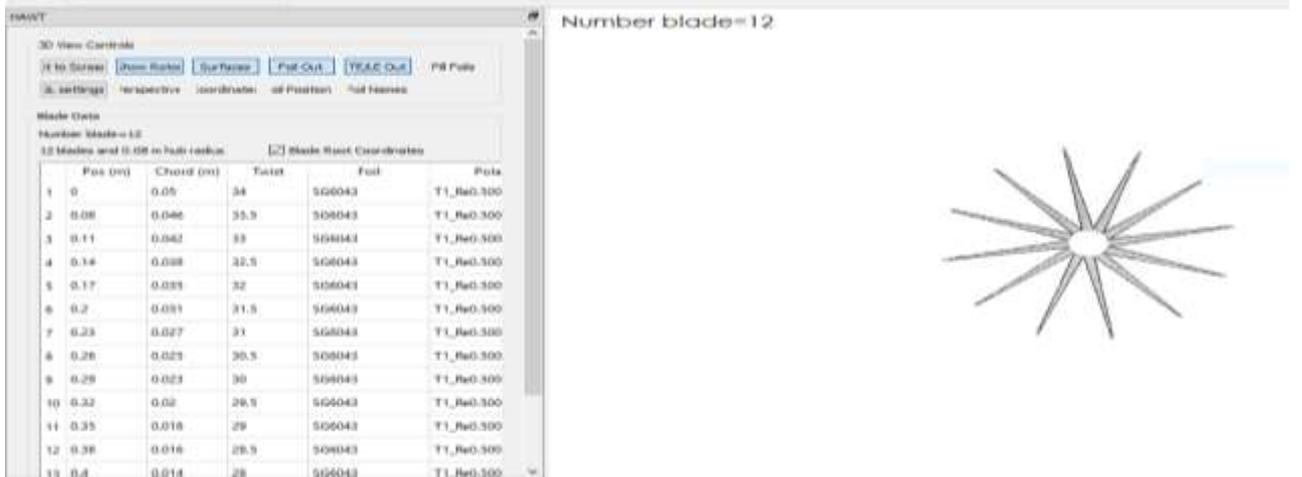
بعد الحصول على البروفائل المناسب والحصول على كل المعاملات التي تخص البروفائل من معامل الرفع والسحب ونسبة الرفع الى السحب وزاوية الهجوم المثلى وزاوية الهجوم الحرجة نبدأ بتصميم شفرات التوربينة حيث نقوم بتصميم عنفة ذات 3 و 6 و 12 و 24 شفرة مع التحكم في كل من طول الوتر وزاوية الالتفاف للحصول على الأداء الأفضل لكل تصميم.



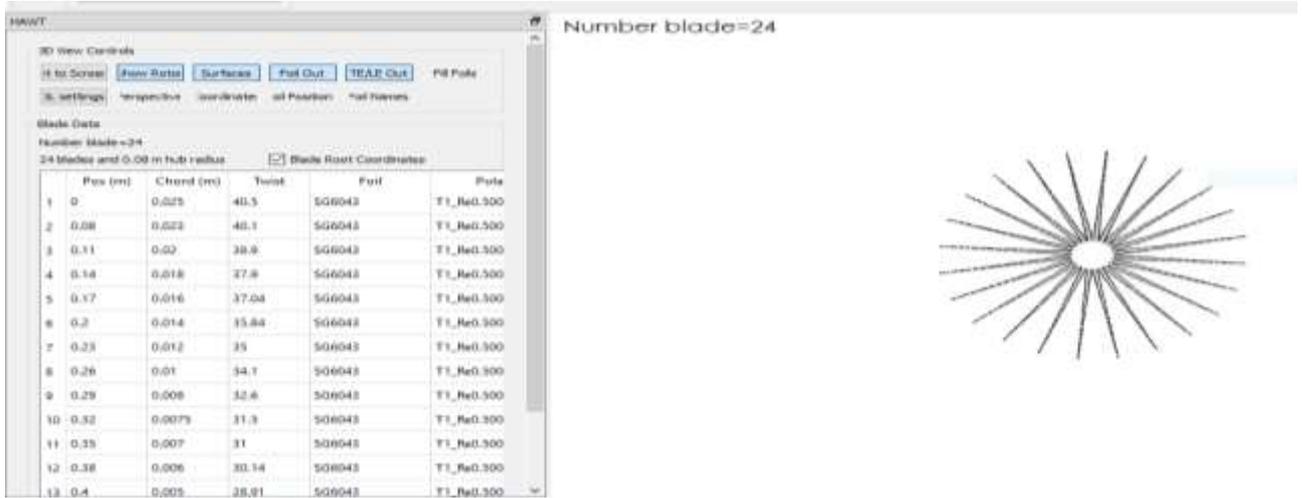
الشكل (8) : وحدة التصميم عند NB=3



الشكل (9) : وحدة التصميم عند NB=6



الشكل (10) : وحدة التصميم عند NB=12



الشكل (11) : وحدة التصميم عند NB=24

بعد اجراء كل التحسينات اللازمة والتحكم بالعوامل المرتبطة بعمل الشفرة اعتماداً على نظرية عنصر الجناح يتم الوصول الى النتائج التي تعمل على إظهار عدة متغيرات ومعاملات أيروديناميكية حيث نجد تأثير عدد الشفرات والسرعة الطرفية والدورانية على الكفاءة الأيروديناميكية (الاستطاعة، معامل الاستطاعة)

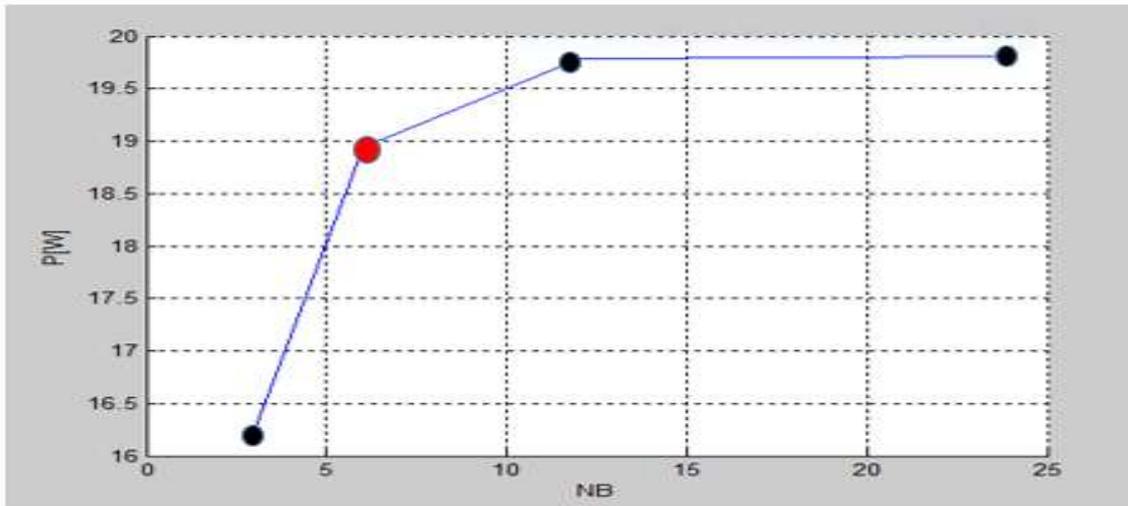
### النتائج والمناقشة:

تختلف العنفات الريحية أفقية المحور عن بعضها من حيث عدد الشفرات والسرعة الطرفية وطول الشفرة وبناءً عليه بعد الدراسة والمحاكاة باستخدام برنامج Qblade لأفضل مقطع أيروديناميكي مع تعيين الخصائص المثلى لشفرات العنفة الهوائية أفقية المحور قمنا بدراسة تأثير البامترات التالية (عدد الشفرات و السرعة الطرفية ونصف قطر الدوار ونصف قطر الجذر ) على الكفاءة الأيروديناميكية ( الاستطاعة  $P$  ، معامل الاستطاعة  $C_p$ )

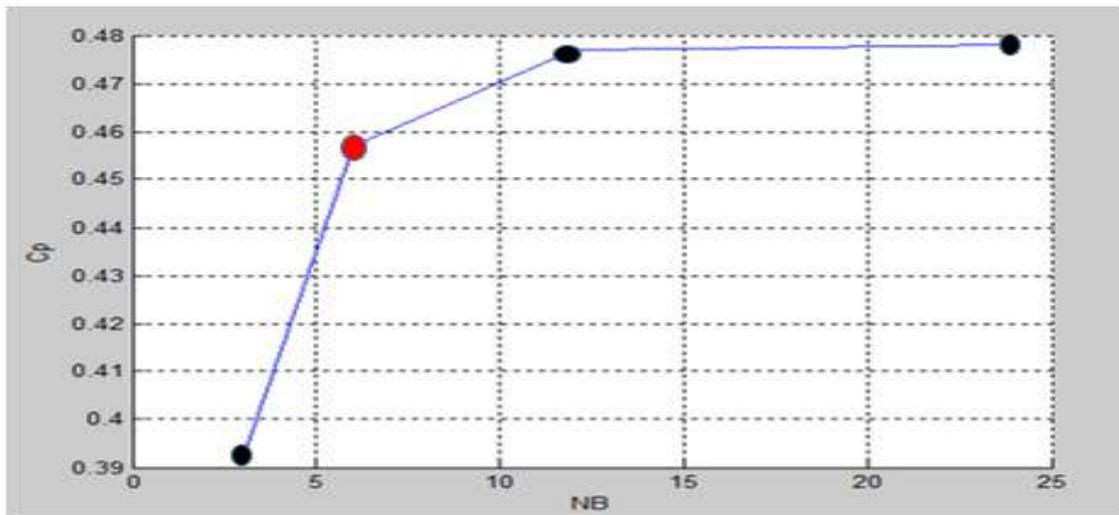
#### 1- دراسة تأثير عدد الشفرات NB :

لمعرفة تأثير تغير عدد الشفرات على الكفاءة الأيروديناميكية ( الاستطاعة  $P$  ، معامل الاستطاعة  $C_p$ ) قمنا بتثبيت كل من سرعة الهواء  $V=4\text{m/s}$  والسرعة الطرفية  $\lambda = 3$  نصف قطر العنفة  $RTip = 0.58\text{m}$  ونصف قطر

الجذر  $R_{hub} = 0.08m$  ، كما نقوم في كل مرة بتغيير عدد الريش  $NB = 12$  ،  $NB = 24$  ،  $NB = 3$  ،  $NB = 6$



الشكل (12) : العلاقة بين عدد الشفرات والاستطاعة



الشكل (13) : العلاقة بين عدد الشفرات ومعامل الاستطاعة

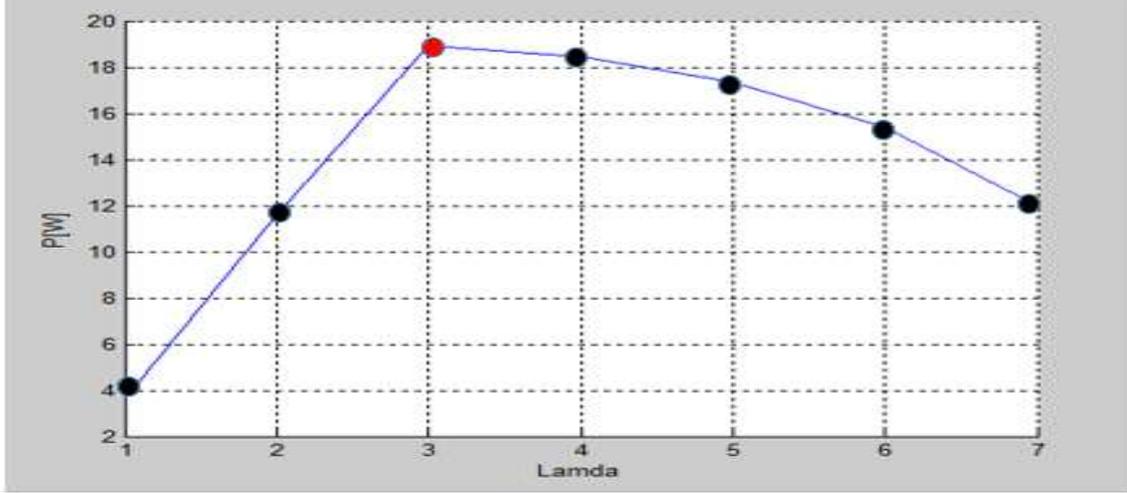
نلاحظ من خلال الشكلين أن تغيير الاستطاعة  $P$  ومعامل الاستطاعة  $C_p$  يزداد بزيادة عدد الشفرات وهذا يعود لكون الزيادة في عدد الشفرات  $NB$  يعمل على امتصاص طاقة أكبر من الهواء . حيث نسجل تغيرات في كل من الاستطاعة  $P$  ومعاملها  $C_p$  تحت تأثير عدد الشفرات فنلاحظ أنه عندما تكون عدد الشفرات أقل من  $NB = 12$  يكون معدل التغير معتبر أما عندما تكون أكثر من  $NB = 12$  يكون معدل التغير مهملاً لأن مقدار الزيادة ضئيل جداً ويترتب عليه خسارة اقتصادية .

## 2- دراسة تأثير السرعة الطرفية $\lambda$ :

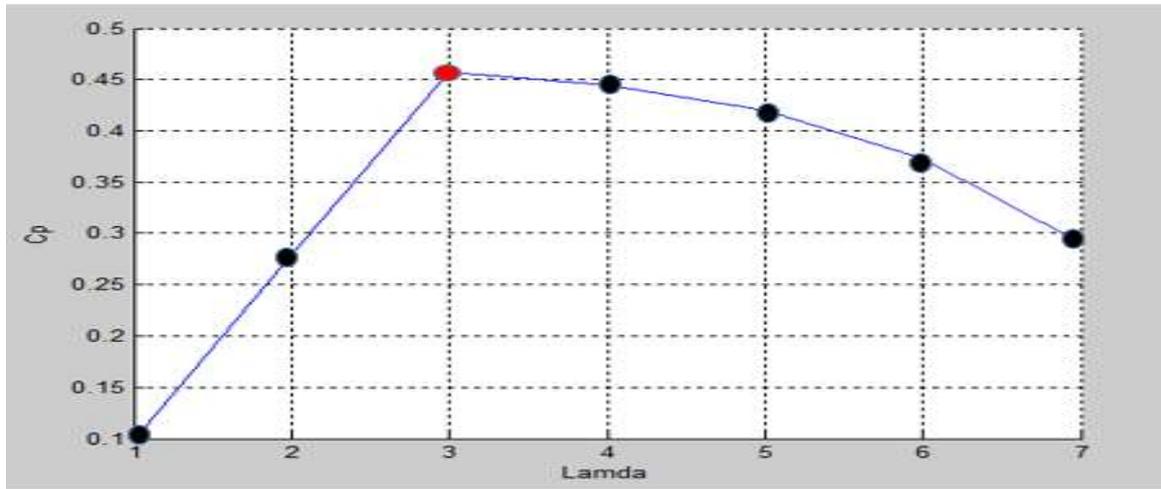
السرعة الطرفية  $\lambda$  : هي نسبة سرعة طرف الشفرة إلى سرعة الرياح .وهي معلمة مهمة لتصميم توربينات الرياح

$$\text{وتعريفها موضح في المعادلة : } \lambda = \frac{\omega R}{V_0}$$

$\omega$  : هي السرعة الزاوية لدوار توربينات الرياح،  $R$  : هي نصف قطر الدوار و  $V_0$  : هي سرعة الرياح. لمعرفة تأثير تغير السرعة الطرفية على الكفاءة الأيروديناميكية ( الاستطاعة  $P$  ، معامل الاستطاعة  $C_p$  ) قمنا بتثبيت كل من سرعة الهواء  $V = 4 \text{ m/s}$  وعدد الريش  $NB = 6$  ونصف قطر العنفة  $RTip = 0.58\text{m}$  ونصف قطر الجذر  $Rhub = 0.08\text{m}$ ، كما قمنا في كل مرة بتغيير السرعة النوعية  $\lambda = 1$  ،  $\lambda = 2$  ،  $\lambda = 3$  ،  $\lambda = 4$  ،  $\lambda = 5$  ،  $\lambda = 6$  ،  $\lambda = 7$  .  
 $\Omega = 65.8\text{rpm}$  ،  $\Omega = 131.7\text{rpm}$  ،  $\Omega = 197.57\text{rpm}$  ،  $\Omega = 263.4\text{rpm}$  ،  $\Omega = 329.28\text{rpm}$  ،  $\Omega = 395.1\text{rpm}$  ،  $\Omega = 460\text{rpm}$



الشكل (14) : العلاقة بين السرعة الطرفية والاستطاعة

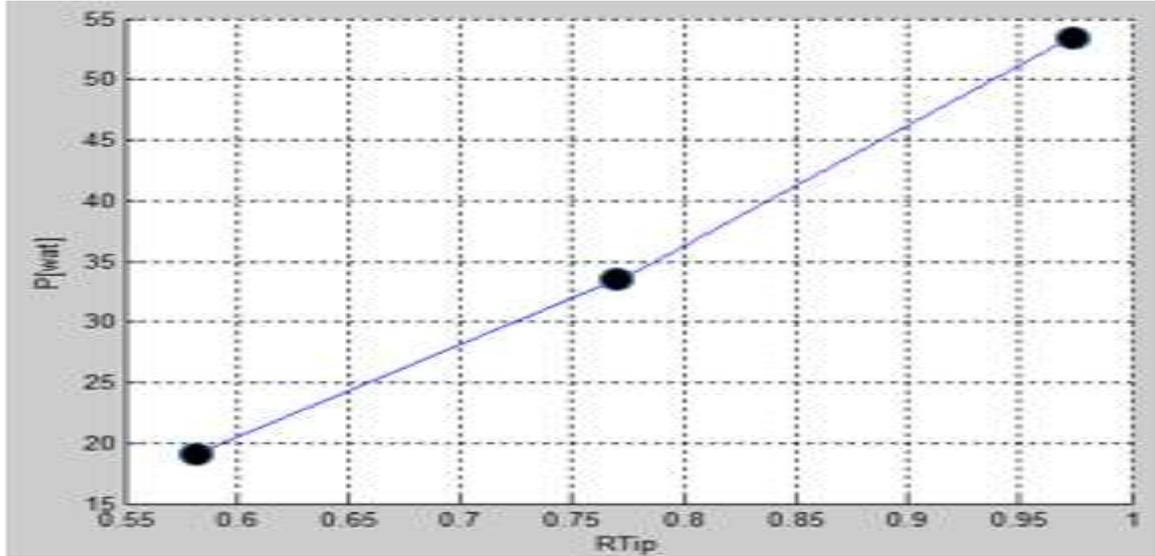


الشكل (15) : العلاقة بين السرعة الطرفية ومعامل الاستطاعة

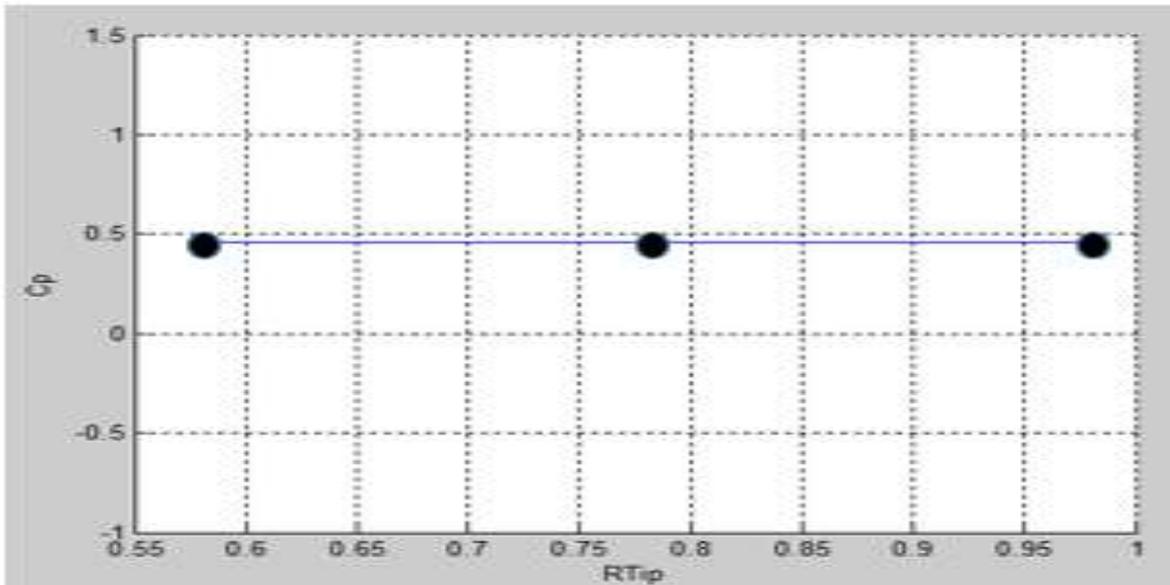
نلاحظ أن أعلى قيمة للاستطاعة  $P$  ومعامل الاستطاعة  $C_p$  تكون في حدود  $Lamda = 3$  ، وعندما تزداد السرعة الطرفية نلاحظ تناقصاً في قيمة الاستطاعة ومعاملها ، وهذا يعود لكون كفاءة العنفة  $(C_p, P)$  ، تأخذ بعين الاعتبار تأثير السرعة الدورانية حيث كلما زادت السرعة الدورانية تزداد كفاءة العنفة على أن تبلغ قيمتها العظمى عند القيمة الحرجة  $\Omega = 197.57\text{rpm}$  ثم تتناقص ويحدث لها تدهور على مستوى التبادل الطاقوي .

### 3- دراسة تأثير نصف قطر العنفة :

قمنا في هذا الجزء بتثبيت كل من سرعة الهواء  $V = 4 \text{ m/s}$  وعدد الشفرات  $NB = 6$  والسرعة الطرفية  $\lambda = 3$  ونصف قطر الجذر  $R_{hub} = 0.08 \text{ m}$ ، و قمنا بحساب الكفاءة الأيروديناميكية ( الاستطاعة  $P$  ، معامل الاستطاعة  $C_p$  ) من أجل نصف قطر العنفة  $R_{Tip}=0.58 \text{ m}$  ,  $R_{Tip}=0.78 \text{ m}$  ,  $R_{Tip}=0.98 \text{ m}$  ، لمعرفة تأثيرها على هذه الخصائص .



الشكل (16) : العلاقة بين نصف قطر العنفة والاستطاعة



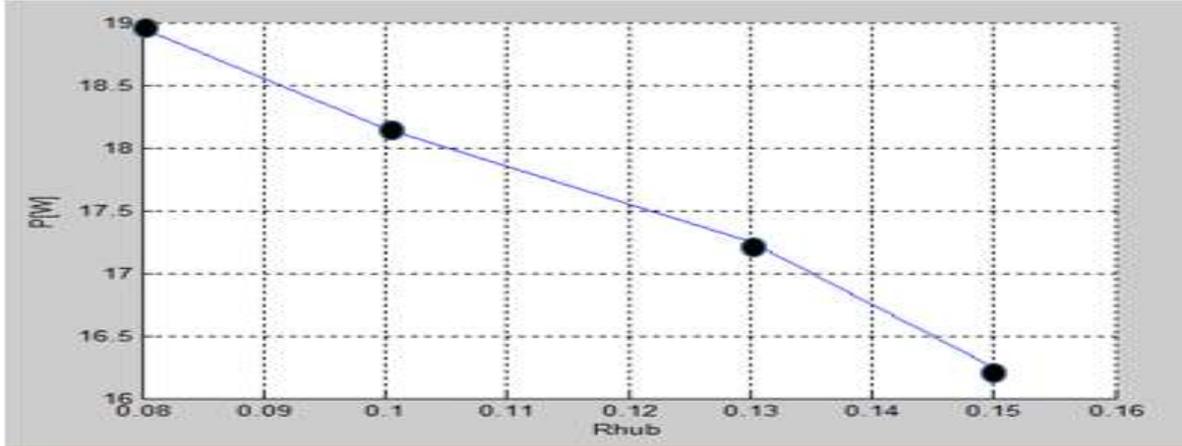
الشكل (17) : العلاقة بين نصف قطر العنفة ومعامل الاستطاعة

نلاحظ أن الاستطاعة  $P$  تتزايد بزيادة نصف قطر العنفة  $R_{Tip}$  وهذه العلاقة منطقية لأن زيادة طول الشفرة تستوجب زيادة الاستطاعة . وهذا ماثوكة العلاقات التحليلية حيث أن الاستطاعة  $P$  ترتبط بمساحة القرص أي بمربع نصف قطر العنفة .

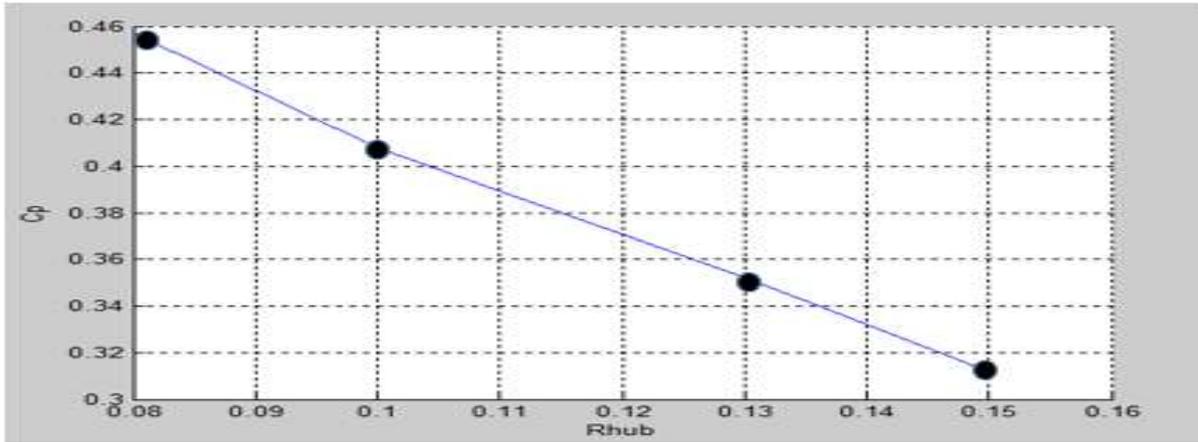
ونلاحظ ثبات قيمة معامل الاستطاعة  $C_p$  ، وهذا يعود لتشابه العنفات مختلفة الأقطار هندسياً وحركياً وديناميكياً .

## 4- دراسة تأثير نصف قطر الجذر :

قمنا بتثبيت سرعة الهواء  $V = 4 \text{ m/s}$  وعدد الشفرات  $NB = 6$  والسرعة الطرفية  $\lambda = 3$  ونصف قطر العنفة  $R_{Tip} = 0.58 \text{ m}$  مع تغيير قيم مختلفة لنصف قطر الجذر  $R_{hub} = 0.13 \text{ m}$  ،  $R_{hub} = 0.1 \text{ m}$  ،  $R_{hub} = 0.08 \text{ m}$  وسجلنا الخصائص الأيروديناميكية ( الاستطاعة  $P$  ، معامل الاستطاعة  $C_p$  ) .



الشكل (18) : العلاقة بين نصف قطر الجذر والاستطاعة



الشكل (19) : العلاقة بين نصف قطر الجذر ومعامل الاستطاعة

نلاحظ أن الزيادة في نصف قطر الجذر تؤدي إلى إنقاص الكفاءة الأيروديناميكية ( الاستطاعة  $P$  ، معامل الاستطاعة  $C_p$  ) وهذا يعود إلى سببين : الأول يتمثل في نقصان طول الشفرة والثاني لظهور الجريانات الثانوية التي تؤدي إلى انفصال الطبقة الحدية وتولد دوامات تعمل على تدني كفاءة المقاطع الأيروديناميكية بجوار الجذر .

## الاستنتاجات والتوصيات:

## الاستنتاجات :

1. أفضل أداء واستطاعة يتم الحصول عليها عند سرعة الرياح المنخفضة عند عدد شفرات 6 مقارنة مع 3 شفرات بنسبة تحسين 16.5% .

2. يتم الحصول على استطاعة أعلى عند زيادة عدد الشفرات الى 12 و 24 ولكن مقدار الزيادة يكون ضئيل مقارنة مع ال 6 شفرات ويترتب عليه خسارة اقتصادية ( بسبب زيادة كمية المادة المستخدمة ) نتيجة زيادة عدد الشفرات.
  3. العنفات الريحية العاملة عند سرعات الرياح المنخفضة تحقق أفضل أداء عند سرعات طرفية منخفضة أي عند سرعات دورانية منخفضة .
  4. تبين عند دراسة تأثير نصف قطر الدوار RTip أن زيادة الطول تؤدي الى زيادة الكفاءة الأيروديناميكية .
  5. تبين عند دراسة تأثير نصف قطر الجذر RHub أن زيادة نصف قطر الجذر أدت الى انقاص الكفاءة الأيروديناميكية.
- التوصيات:**

- 1- تعميم الدراسة على الشركات المصنعة للعنفات الريحية محلياً إن وجدت لتحسين المردود وزيادة الاستطاعة عند سرعات الرياح المنخفضة.
- 2 - دراسة تأثير الاهتزازات لهذا النوع من العنفات عند سرعات الرياح المنخفضة.
- 3 - دراسة تأثير السرعات العالية المفاجئة للشفرات الستة وطرق تقليل التأثيرات السلبية.
- 4 - نوصي باستخدام 6 شفرات في العنفة الريحية المستخدمة عند سرعات الرياح المنخفضة ( الواقع السوري ) بدلاً من ثلاث شفرات.

## References:

- [1] Spera , D.A.(Ed)(1994) Wind Turbine Technology:Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering.ASME Press,New York.
- [2] Yan-Ting Lin, Pao-Hsiung Chiu, Chin-Cheng Huang. (2017) An experimental and numerical investigation on the power 2 performance of 150kW horizontal axis wind turbine. Renewable Energy. S0960-1481(17)30457-3 .
- [3] Nada, A. A., & Al-Shahrani, A. S. (2017). Shape optimization of low speed wind turbine blades using flexible multibody approach. *Energy Procedia*, 134, 577-587.
- [4] M.Sanaa , O.Karim , I.M.Mohammed , KH.Boesselham , H.Abderrahmane. Aerodynamics and structural analysis of wind turbine blade , *Procedia Manufacturing* 22 (2018) 747–756.
- [5] N. Karthikeyan , K. Kalidasa Murugavel , S. Arun Kumar , S. Rajakumar , Review of aerodynamic developments on small horizontal axis wind turbine blade , *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42 (2015) 801-822.
- [6]. S. S. Krishnananth, K. Kalidasa murugavel. *Experimental study on double pass solar air heater with thermal energy storage*. Journal of King Saud University– Engineering Sciences, 2013, Vol. 25, 135-140.
- [7] Lin, H-J, Lai, W-M, & Kuo, Y-M. (2010). Combined analytical and finite element beam model for wind turbine blades. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29, 2422–2437. doi:10.1177/0731684409352386.
- [8] Clausen, PD, Reynal, F, & Wood, DH (2013) Design, manufacture, and testing of small wind turbine blades, Chapter 19 of *Wind Turbine Blade Design and Materials*, P. Brøndsted, P Nijssen (eds), Woodhead Publishing.
- [9] Matias Sessarego and David Wood . Multi-dimensional optimization of small wind turbine blades. *Sessarego and Wood Renewables: Wind, Water, and Solar* (2015) 2:9.
- [10] Mohammadi, M., Mohammadi, A., Mohammadi, M., & Minaei, H. N. (2016). Optimization of small-scale wind turbine blades for low-speed conditions. *Journal of Clean Energy Technologies*, 4(2), 140-143.

- [11] Gupta, R. K., Warudkar, V., Purohit, R., & Rajpurohit, S. S. (2017). Modeling and aerodynamic analysis of small scale, mixed airfoil horizontal axis wind turbine blade. *Materials Today: Proceedings*, 4(4), 5370-5384.
- [12] Tahir, A., Elgabaili, M., Rajab, Z., Buaossa, N., Khalil, A., & Mohamed, F. (2019). Optimization of small wind turbine blades using improved blade element momentum theory. *Wind Engineering*, 43(3), 299-310.
- [13] Cao, H. (2011). *Aerodynamics analysis of small horizontal axis wind turbine blades by using 2D and 3D CFD modelling* (Doctoral dissertation, University of Central Lancashire).
- [14] Ribeiro, A. F. P., Awruch, A. M., & Gomes, H. M. (2012). An airfoil optimization technique for wind turbines. *Applied Mathematical Modelling*, 36(10), 4898-4907.
- [15] Khalil, Y., Tenghiri, L., Abdi, F., & Bentamy, A. (2020). Improvement of aerodynamic performance of a small wind turbine. *Wind Engineering*, 44(1), 21-32.
- [16] Khaddour and Rabee .(2020) . Design and implement small power wind turbine. Tartous university journal for Research and Scirntific Studies-Engineering Sciences Series Vol. (4) No. (1).

