



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة العربي التبسي - تبسة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة الميكانيكية
المرجع: /.....

مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر

إختصاص طاقوية

بعنوان:

تصميم وتحليل عنفة هوائية مصغرة أفقية المحور

Conception et analyse d'une micro Eolienne

à axe horizontal

من إنجاز الطالبة

■ عوايشية مروى

تحت إشراف الدكتور:

■ مدوكي رمزي

أمام لجنة المناقشة:

رئيس اللجنة	جامعة تبسة	أستاذ محاضر قسم ب-ب	■ عقون رابح
مؤطر	جامعة تبسة	أستاذ محاضر قسم أ-أ	■ مدوكي رمزي
مناقش	جامعة تبسة	أستاذ مساعد قسم أ - أ	■ بوغفان عبد الكريم

السنة الجامعية 2020 /2019

شكر و عرفان

بسم الله الرحمن الرحيم والصلاة والسلام على اشرف المرسلين والحمد لله رب العالمين حمدا يليق بجلال وجهه وعظيم سلطانه. أشكر الله عزوجل الذي وفقني و أهدى الصبر على إتمام هذا العمل المتواضع فلولاه لما أبصرت هذه الدراسة النور.

أما بعد أتقدم بالشكر الجزيل إلى قدوتنا في العلم و العمل الدكتور المؤطر " مدوكي رمزي " على مساعدته لنا في انجاز هذا البحث الشيق و المهم كما أشكره على جميل صبره معي في تلقي المفااهيم و التعلم و إفادته لي بكلمات المفتاحية التي كانت بمثابة مفاتيح لأبواب واسعة من البحث ، كما أتقدم بالشكر جزيل إلى أستاذي الكريم " بكاي رياض " و لما بذله معي من جهد و عناية دقيقة وإرشاداته القيمة التي أفادتني في هذا العمل، كذلك أشكر أساتذة اللجنة " عقون رابع " و أستاذ " بوعفان عبد كريم " اللذان قدما لنا القدر الوافي و الكافي من المعلومات و أفادانا في التحصيل العلمي كثيرا ، أكن لكم كامل الإحترام و التقدير.

كذلك لا أنسى بالشكر جميع أساتذة قسم الهندسة الميكانيكية المحترمين و أشكر كل الأساتذة الذين كان لهم الفضل في بناء رصيدي العلمي ، لا يفوتني أن أشكر كل من هدى لي يد العوان و أعطاني من وقتـــه الثمين كي أجز هذا العمل ، فهنا إليكم فائق الاحترام و التقدير.

الإهداء

أهدي هذا العمل المتواضع و نجاحي إلى والدي الكريمين
إلى أثنى لؤلؤتين املكهما في الوجود أبي و أمي، أطال الله
في عمركما. وإلى من سهروا وتواصلا معي أثناء دراستي
و بفضلهم تحوت من الناجحين وبلغت الفوز الذي أرجو
فحققت بذلك الأمل فيهم إخواني. وأهديه أيضا إلى كل
زملائي و صديقاتي من قريب و من بعيد لا أسمى أحد حتى لا
أنسى أحد، وإلى كل من عرفهم قلبي و طابت معهم حياتي.



الملخص

تتمحور دراستنا في هذه المذكرة حول طريقتي التصميم و التحليل المبنيتين على مقارنة كمية الحركة – عنصر الجناح (BEM) الخاصة بالجانب الأيروديناميكي لعنفة هوائية صغيرة أفقية المحور. فيما يخص طريقة التصميم تم إستعمال البرنامج المطور بلغة فورترن HAWT _ BEM و المقطع الأيروديناميكي المشهور S809 للحصول على الشكل الهندسي لأجنحة العنفة و ذلك من خلال إيجاد كل من وزاوية الإلتفاف و قيمة الوتر في مختلف المحطات القطرية ، أما طريقة التحليل فتعتمد برنامج Qblade لإجراء دراسة و بسيطة يتم من خلالها تحليل تأثير العوامل المتمثلة في عدد الأجنحة ، السرعة النوعية ، نصف قطر العنفة ، نصف قطر الجذر على الكفاءة الأيروديناميكية للعنفة .



الفهرس

الفهرس

SOMMAIRE

الصفحة	الفصول
	الفصل الأول : عموميات حول العنقادات الهوائية
01	المقدمة.
01	(1) الرياح
01	1.1 طاقة الرياح
02	2.1 فوائد طاقة الرياح
02	3.1 أنواع محطات طاقة الرياح
02	1.3.1 مزارع الرياح على اليابسة
03	2.3.1 مزارع الرياح في المياه
03	(2) العنقادات الهوائية
03	1.2 مكونات العنقادات الهوائية
06	1.1.2 أجنحة
04	2.1.2 مركز الدوار
04	3.1.2 محور دوران السرعة المنخفضة
04	4.1.2 عجلة السرعة
04	5.1.2 محور دوران السرعة المرتفعة
04	6.1.2 المواد الكهربائية
05	7.1.2 برج العنقة
05	8.1.2 سابرانت و مكابح
06	(3) تصنيف العنقادات الهوائية
06	1.3 عنقادات هوائية أفقية المحور
07	1.1.3 نوع ماخنوس
07	2.3 إيجابيات و سلبيات العنقة الهوائية أفقية المحور
07	1.2.3 إيجابياتها
08	2.2.3 سلبياتها
08	3.3 عنقادات هوائية عمودية المحور
08	1.3.3 نوع دار يوس
09	2.3.3 نوع سافونبوس
09	4.3 إيجابيات و سلبيات العنقة الهوائية عمودية المحور

09	1.4.3 إيجابياتها
09	2.4.3 سلبياتها
10	4) عوامل تصنيف العنقبات الهوائية
10	1.4) السرعة النوعية
10	2.4) معامل الإستطاعة
10	3.4) معامل عزم الدوران
11	5) الدراسات التجريبية المطبقة على الجناح عنفة هوائية أفقية المحور
11	1.5) الدراسة الأولى
12	2.5) الدراسة الثانية.
13	3.5) الدراسة الثالثة
14	4.5) الدراسة الرابعة
15	5.5) الدراسة الخامسة
16	6.5) الدراسة السادسة
	الفصل الثاني : أيروديناميكية العنفة الهوائية
17	المقدمة
17	1) العناصر الهندسية لقطع الجناح
18	2) القوى الأيروديناميكية لجناح العنفة
20	3) مصلة السرعات و القوى لجناح العنفة الهوائية
20	4) العوامل المتكئة في القوى الأيروديناميكية
21	5) تشكّل الأثر الذيلي
21	6) أنواع المقاطع الأيروديناميكية المستعملة في جناح العنفة الهوائية
22	7) تسمية الأجنحة
23	8) عائلات مقاطع الأجنحة المستعملة في العنفة الهوائية
23	1.8) سلسلة مقاطع أجنحة S8xx
24	2.8) سلسلة مقاطع أجنحة S831, S830, S832
24	3.8) مقاطع الجناح S809
25	4.8) سلسلة مقاطع أجنحة FFA- W-xxx
27	5.8) سلسلة مقاطع أجنحة Risø-A1- xxx
27	6.8) سلسلة مقاطع أجنحة DU xx-W-xxx
28	7.8) مقاطع الجناح FX66-S196-V1
	الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة
29	المقدمة
29	1) طريقة كمية الحركة - عنصر الجناح
29	1.1) نظرية كمية الحركة
30	1.1.1) الفرضيات المتعددة

32	2.1.1 صياغة المعدلات التكاملية في الجريان داخل حجم المراقبة
32	1.2.1.1 معادلة الإستمرارية و مبدأ انخفاض الكتلة
36-33	2.2.1.1 معادلة كمية الحركة والقانون الثاني لنيوتن
38-36	3.2.1.1 معادلة الطاقة و قانون الأول للديناميكا الحرارية
40-39	4.2.1.1 معادلة عزم كمية الحركة و قانون إنحفاظ كمية الحركة الزاوية
41	2.1 نظرية عنصر الجناح
41	1.2.1 تحليل عنصر الجناح
45-43	2.2.1 حساب القوى المؤثرة على كل عنصر من الجناح
48-46	3.2.1 حساب الخصائص الأيروديناميكية المثلى للجناح
48	4.2.1 معامل التصحيح لبرانتس عند حافة الجناح
48	5.2.1 الخوارزمية
50	مخطط الخوارزمية
	الفصل الرابع : دراسة وسيطية لعنفة هوائية صغيرة بواسطة برنامج Qblade
51	المقدمة
51	1) تعريف برنامج Qblade
52	1.1 هيكل البيانات
53	2.1 وظائف Qblade
65-54	2) عرض مجموعة الخيارات المتاحة في واجهة Qblade
66	3) نتائج
69-66	1.3 دراسة تأثير عدد الأجنحة NB
73-70	2.3 دراسة تأثير السرعة النوعية λ
76-73	3.3 دراسة تأثير نصف قطر العنفة . RTip
81-77	4.3 دراسة تأثير نصف قطر الجذر Rhub

قائمة الأشكال

قائمة الأشكال

الصفحة	الفصول
	الفصل الأول : عموميات حول العنفات الهوائية
01	{ الشكل 1 } مصادر الطاقات المتجدد
02	{ الشكل 2 } مزارع على اليابسة و المياه
03	{ الشكل 1.3 } رسم تخطيطي يمثل أجزاء العنفة هوائية
05	{ الشكل 2.3 } مكونات العنفة الهوائية أفقية المحور.
06	{ الشكل 1.4 } عنفات هوائية أفقية المحور
06	{ الشكل 2.4 } تصنيف العنفات الهوائية أفقية المحور حسب عدد الأجنحة و اتجاه الرياح
07	{ الشكل 3.4 } عنفة هوائية نوع ماغنوس
08	{ الشكل 1.5 } عنفة هوائية عمودية المحور نوع داربوس
09	{ الشكل 2.5 } عنفة هوائية عمودية المحور نوع سافونيوس
10	{ الشكل 6 } معامل الإستطاعة بدلالة السرعة النوعية
11	{ الشكل 7 } منحني بياني يمثل نتائج تغير الوتر بدلالة المعطيات القطرية
12	{ الشكل 1.8 } نتائج تغير معاملي التعريض بواسطة برنامج BEM و Qblade
12	{ الشكل 2.8 } نتائج تغير الإستطاعة بدلالة السرعة
13	{ الشكل 9 } يوضح توافق بين نتائج (BEM) و (CFD)
14	{ الشكل 10 } عرض نتائج معامل الإستطاعة لجناحين بناء على نظرية BEM
15	{ الشكل 11 } عرض نتائج معامل الإستطاعة بدلالة السرعة النوعية
16	{ الشكل 1.12 } تحليل FE للجنيح بسرعة الرياح
16	{ الشكل 2.12 } الضغط الأقصى لنموذج FE تحت سرعات الرياح المختلفة
	الفصل الثاني : أيروديناميكية العنفة الهوائية
17	{ الشكل 1 } الخصائص الهندسية الأساسية لمقطع الجناح
18	{ الشكل 1.2 } القوى الأيروديناميكية للعنفة الهوائية أفقية المحور
19	{ الشكل 2.2 } معطلة القوى ومثلث السرعات
20	{ الشكل 3 } السرعات المؤثرة على العنفة

21	{ الشكل 4 } ظاهرة تشكل الأثر الذيلي للعنفة
22	{ الشكل 5 } أنواع المقاطع الأيرو ديناميكية المستعملة في جناح العنفة الهوائية
23	{ الشكل 6 } موضع أكبر تحدب و أكبر سمك
24	{ الشكل 1.7 } مقاطع الأجنحة S830 S832 S831
25	{ الشكل 2.7 } جناح مقطع يمثل S809
25	{ الشكل 3.7 } سلسلة مقاطع الأجنحة FFA-W1-xxx
26	{ الشكل 4.7 } سلسلة مقاطع الأجنحة FFA-W2-xxx
26	{ الشكل 5.7 } سلسلة مقاطع الأجنحة FFA-W3-xxx
27	{ الشكل 6.7 } مقاطع أجنحة Risø-A1- xxx
28	{ الشكل 7.7 } يمثل مقطع الجناح DU xx-W-xxx
28	{ الشكل 8.7 } مقطع الجناح FX66-S196-V1
	الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة
29	{ الشكل 1.1 } مقطع طولي لأنبوب التيار
31	{ الشكل 2.1 } سلوك الضغط و السرعة المحورية
32	{ الشكل 3.1 } حجم مراقبة
33	{ الشكل 4.1 } تمثيل القوى مطبقة على حجم المراقبة
38	{ الشكل 2 } تغيير كل من C_T و C_p بدلالة المعامل a
39	{ الشكل 3 } دوار العنفة الهوائية ثلاثي الأجنحة مع نصف قطر دوار R
41	{ الشكل 1.4 } عنصر الجناح و مركبات السرعات
42	{ الشكل 2.4 } تقسيم الجناح إلى قطع مع إبراز حلقة وهمية تكونها هذه القطعة عند دوران الجناح
42	{ الشكل 3.4 } إدراج مركبات السرعة التحريضية ضمن مثلث السرعات
44	{ الشكل 5 } بيان كل من C_D و C_L بدلالة زاوية الهجوم α لمقطع S809
	الفصل الرابع : دراسة وسيطية لعنفة هوائية صغيرة برنامج Qblade بواسطة
51	{ الشكل 1.1 } الواجهة الرئيسية لبرنامج Qblade
54	{ الشكل 2.1 } إحدائيات المقطع المستورد S809

55	{ الشكل 3.1 } توزيع معاملي الرفع والمقاومة و نسبة معامل الرفع للمقاومة C_L/C_D
56	{ الشكل 4.1 } توزيع معامل الإستطاعة على مقطع S809 مع قيم مختلفة لزواية الهجوم AOA
57	{ الشكل 5.1 } وحدة الإستقرار القطبي إلى 360 درجة
58	{ الشكل 6.1 } وحدة تصميم الجنيح HAWT وجزء الفرعي للتحسين
59	{ الشكل 7.1 } إنشاء وحدة أجنحة إنطلاقاً من وحدة التصميم
60	{ الشكل 8.1 } محاكاة الدوار بإستعمال نظرية BEM
61	{ الشكل 9.1 } وحدة محاكاة معاملات متعددة
62	{ الشكل 10.1 } وحدة محاكاة العنفة HAWT بأحلامها
63	{ الشكل 11.1 } وحدة مولد Windfield المضطربة
64	{ الشكل 12.1 } وحدة محاكاة الدوامات الحلزونية في عدد أجنحة 3 و 6
65	{ الشكل 13.1 } وحدة محاكاة الدوامات الحلزونية في عدد أجنحة 12 و 24
66	{ الشكل 1.2 } أجنحة منحنيات ذات 3 و 6 و 12 و 24 جناح
67	{ الشكل 2.2 } تأثير عدد الأجنحة على الإستطاعة
67	{ الشكل 3.2 } تأثير عدد الأجنحة على معامل الإستطاعة
68	{ الشكل 4.2 } تأثير عدد الأجنحة على العزم
68	{ الشكل 5.2 } تأثير عدد الأجنحة على معامل العزم
69	{ الشكل 6.2 } تأثير عدد الأجنحة على قوة الدفع
69	{ الشكل 7.2 } تأثير عدد الأجنحة على معامل قوة الدفع
70	{ الشكل 1.3 } تأثير السرعة النوعية على الإستطاعة
70	{ الشكل 2.3 } تأثير السرعة النوعية على معامل الإستطاعة
71	{ الشكل 3.3 } تأثير السرعة النوعية على العزم
71	{ الشكل 4.3 } تأثير السرعة النوعية على معامل العزم
72	{ الشكل 5.3 } تأثير السرعة النوعية على قوة الدفع
72	{ الشكل 6.3 } تأثير السرعة النوعية على معامل قوة الدفع
73	{ الشكل 1.4 } تصميم أجنحة بدلالة تغير RTip
74	{ الشكل 2.4 } تأثير نصف قطر العنفة على معامل الإستطاعة
74	{ الشكل 3.4 } تأثير نصف قطر العنفة على معامل قوة الدفع

75	{ الشكل 4.4 } تأثير نصف قطر العنقبة على معامل العزم
75	{ الشكل 5.4 } تأثير نصف قطر العنقبة على الإستطاعة
76	{ الشكل 6.4 } تأثير نصف قطر العنقبة على قوة الدفع
76	{ الشكل 7.4 } تأثير نصف قطر العنقبة على العزم
77	{ الشكل 1.5 } تصميم أجنحة بدلالة تغير Rhub
78	{ الشكل 2.5 } تصميم أجنحة بدلالة تغير Rhub
79	{ الشكل 3.5 } تأثير تغير نصف قطر الجذر على الإستطاعة
79	{ الشكل 4.5 } تأثير تغير نصف قطر الجذر على معامل الإستطاعة
80	{ الشكل 5.5 } تأثير تغير نصف قطر الجذر على العزم
80	{ الشكل 6.5 } تأثير تغير نصف قطر الجذر على معامل العزم
81	{ الشكل 7.5 } تأثير تغير نصف قطر الجذر على قوة الدفع
81	{ الشكل 8.5 } تأثير تغير نصف قطر الجذر على معامل قوة الدفع



قائمة الرموز

الرمز	دلالاته	وحدته
C_p	معامل الإستطاعة	[-]
C_D	معامل الإعاقة	[-]
C_L	معامل الرفع	[-]
ρ	الكتلة الحجمية للهواء	$[Kg/m^3]$
P_∞	الضغط الجوي	[Pa]
A_∞	مساحة مدخل أنبوب التيار	$[m^2]$
A_W	مساحة مخرج أنبوب التيار	$[m^2]$
A_d	مساحة القرص	$[m^2]$
α	معامل التحريض المحوري	[-]
$\acute{\alpha}$	معامل التحريض الزاوي	[-]
V_{rel}	السرعة النسبية	$[m/s]$
ω	السرعة الزاوية لدوران جريان الهواء	$[rad/s]$
l	قوة الرفع	[N]
D	قوة الإعاقة	[N]
F_θ	القوة في الاتجاه الزاوي	[N]
F_z	القوة في الاتجاه المحوري	[N]
dM	العزم العنصري	$[N.m]$
N_B	عدد الأجنحة	[-]
dr	سمك حلقة عنصرية نصف قطرها	[m]

[W]	الإستطاعة	p
[N]	قوة رد الفعل (الدفع)	T
[-]	معامل الصلابة الموضعية	σ
[-]	معامل التصحيح لبرانت	f
[m]	نصف قطر عند حلقة عنصرية	r
[-]	عدد ماك	M
[Kg/s]	الدفق الكتلي	\dot{m}
[W]	طاقة النظام	E_{sys}
[J]	العمل	w
[N]	القوى الخارجية	F_{ext}
[m ³]	حجم مراقبة عنصرية	dV
[-]	معامل القوة المحورية	C_t
[-]	السرعة النوعية	λ
[m/s]	سرعة الهواء	V_{∞}
[m/s]	سرعة الدوار	V_d
[pa]	الضغط عند مدخل أنبوب التيار	P_{∞}
[pa]	الضغط عند الدوار	P_d
[pa]	الضغط عند مخرج أنبوب التيار	P_w
[m ²]	مساحة سطح المراقبة	SC
[deg]	زاوية السريان النسبي	ϕ
[deg]	زاوية الالتفاف	β
[deg]	زاوية الهجوم	α

[-]	معامل الدفع	C_d
[N. m]	العزم	\mathcal{M}
[m ² /s]	تسارع الجاذبية الأرضية	g
[j]	الطاقة الداخلية	u
[m]	الارتفاع على سطح الأرض	z
[m]	التوتر	c
[deg]	السرعة الزاوية	Ω
[m]	نصف قطر العنفة	R_{Tip}
[m]	نصف قطر الجذر	R_{hub}
[-]	نسبة نصف قطر الجذر على نصف قطر العنفة	h_{tr}



المقدمة العامة

Introduction Générale

تستخدم طاقة الرياح كمصدر بديل من مصادر توليد الطاقة الكهربائية ، بديلا عن الوقود الأحفوري و النفط و الغاز الطبيعي ، فهذه المصادر تعد ضارة بالبيئة لما تولده من غازات سامة عند إحتراقها كما أنها تتميز بعدم توفرها في كافة مناطق العالم إضافة إلى تسببها بالحروب و الكوارث على البشرية ، لذلك توجب التوجه إلى مصادر الطاقة البديلة أو المتجددة مثل (الطاقة الهوائية ، الطاقة الشمسية ، طاقة المد و الجزر) وغيرها من طاقات .

من أكثر مصادر الطاقة البديلة الأقل كلفة و الأكثر ملاءمة لإنتاج الطاقة الكهربائية هي طاقة الرياح و ذلك بإستخدام عنفات هوائية تقوم بامتصاص الطاقة الحركية للرياح و تحويلها إلى طاقة ميكانيكية دورانية و من ثم إلى طاقة كهربائية. نهدف في مذكرتنا هذه إلى تسليط الضوء على هذه الآلة التربينية الهامة من خلال التعرف على نظرية كمية الحركة و عنصر الجناح و إستعمالها في عملية التصميم أولا و ذلك بواسطة برنامج مكتوب بلغة الفورترن عملية التحليل ثانيا وذلك بواسطة البرنامج المعلوماتي Qblade ، سيتم بإذن الله العلي العظيم تقسيم هذا العمل في أربعة فصول كالتالي:

الفصل الأول: سيتضمن بعض المفاهيم الأساسية عن طاقة الرياح وكيفية تحويل هذه الطاقة إلى طاقة كهربائية بإستخدام العنفات الهوائية بالإضافة إلى عرض لمكونات هذه العنفات، وإبراز أنواعها مع التركيز على العنفة أفقية المحور التي تمثل محور دراستنا ، بإضافة إلى مجموعة من الأبحاث حديثة تدرج في هذا المجال .

الفصل الثاني: سنهتم في هذا الفصل بتحليل القوى الأيروديناميكية على الجناح و التعرف على مختلف الخصائص الهندسية له مع ذكر مختلف أنواع المقاطع المستعملة في أجنحة العنفات الهوائية .

الفصل الثالث: هذا الفصل يتمثل في تحليل فيزيائي و رياضي يشرح مختلف الظواهر الطاقوية و الأيروديناميكية الواقعة على مستوى جناح العنفة الهوائية، بهدف شرح طريقة كمية الحركة - عنصر الجناح BEM المستعملة في تصميم و تحليل العنفات الهوائية.

الفصل الرابع: لننهي دراستنا بفصل أخير يتمثل في القيام بدراسة وسيطية لعنفة هوائية مستعملين البرنامجين المذكورين سابقا BEM _ HAWT و Qblade ، بعد عرض موجز لأهم المراحل المستعملة في برنامج Qblade حيث تم إبراز أهم النتائج المتحصل عليها تحت تأثير العوامل الأربعة متمثلة في عدد الأجنحة السرعة النوعية و نصف قطر العنفة و نصف قطر الجذر.



المقدمة

إن الطاقة المتجددة تعرف بأنها الطاقة التي لا تنضب و التي يستطيع الإنسان استخدامها في مجالات شتى (لإنتاج الكهرباء و تشغيل المصانع و السيارات....)، نظرا إلى قلة توفر الطاقة غير المتجددة و التي قد بدأت مصادر ها بالانخفاض فالبحث عن بديل هو الأفضل لاستمرار الحياة على كوكب الأرض و القدرة على تقديم الخدمات التي تسير الحياة ، و من مصادر الطاقة المتجددة: الطاقة الشمسية،طاقة المياه،طاقة المد و الجزر و طاقة الرياح، و هذه الأخير يتم تسليط الضوء عليها و كيف يتم استغلالها لإنتاج الطاقة.



{ الشكل 1 } مصادر الطاقة المتجدد

(7) الرياح

الرياح هي إحدى الظواهر الطبيعية على سطح الأرض و التي نتعامل معها بشكل يومي و هي عبارة عن حركة الهواء الموجود في الغلاف الجوي باتجاه معين و سرعة معينة، فيعتمد اتجاه حركة الرياح و الهواء وانتقالها من مكان إلى آخر على سطح الأرض بالاتجاه الأفقي على فرق الضغط بين مكانين ، فتتحرك الرياح باتجاه الضغط المنخفض ، وتعتمد سرعتها هي الأخرى على فرق الضغط.

1.1) طاقة الرياح

هي طاقة مستخرجة من طاقة الحركية للرياح بواسطة استخدام عنفات الرياح لإنتاج الطاقة الكهربائية، و هي تعتبر من أنواع الطاقة الكهروميكانيكية. تعد طاقة الرياح احد أنواع الطاقة المتجدد التي انتشر استخدامها كبديل للوقود الأحفوري، و هي طاقة وفيرة و قابلة للتجدد و توجد بعموم المناطق ، إلا أن وفرتها تختلف من موقع إلى آخر. و هي طاقة نظيفة و متجددة لا ينتج عنها انبعاثات مثل الغازات الدفيئة (غازات الاحتباس الحراري) أثناء التشغيل . وهي تحتاج إلى مساحات متفاوتة على حسب حجم المحطة و نوع الأبراج المستخدمة.

لا ينصح بوضع العنفات الهوائية في المناطق الحضرية بسبب وجود عوائق تمنع الاستفادة من سرعات الرياح الجيدة ، إلا أنها مجدية في المناطق الريفية نظر لاتساع المساحات و قلة المباني. و أثرها على البيئة عادة ما يكون اقل إشكالية من مصادر الطاقة الأخرى و رغم إنتاجها الوافر بالمناطق ذات سرعات

الرياح العالية إلا أن احد عيوبها على نطاق المرافق هو أن ذروة إنتاجها لا يتوافق بالعادة مع ذروة الاستهلاك مما لا يسهم في تقليل العبء على محطات إنتاج الكهرباء التقليدية أثناء ذروة الاستهلاك. أما على نطاق المنازل ، فان اكبر عيوبها أن الإنتاج من عنفات الرياح لا يحمل صفة الديمومة ، و لتفادي ذلك يمكن الاستفادة من الإنتاج عن طريق ربطها بشكل مباشر بالشبكة العمومية للكهرباء أو تركيب بطاريات لتخزين تلك الطاقة و الاستفادة منها طوال اليوم . وبالعادة في الأنظمة الكهربائية خارج الشبكة على نطاق المنازل لا يتم استخدام طاقة الرياح منفردة دون وجود مصادر أخرى من أنواع الطاقة المتجددة كالطاقة الضوئية مثلا، حتى يدعم كلاهما الأخر و يزيد من موثوقية إنتاج الكهرباء.

2.1 فوائد طاقة الرياح [1]

تعد طاقة الرياح من أسرع المصادر نموا لتوليد الكهرباء الجديدة في العالم، و يمكن ربط اتجاهات النمو هذه بالفوائد المتعددة التالية:

- ✓ الطاقة الكهربائية المنتجة من طاقة الرياح نظيفة أي لا تنتج أي تلوث أو غازات
- ✓ طاقة الرياح طاقة قليلة التكلفة وهي مصدرا للكهرباء يتم إنتاجه محليا و لا تتطلب الوقود

3.1 أنواع محطات طاقة الرياح [1]

رغم تعدد أنواع عنفات الرياح إلا انه يمكن تقسيم محطات طاقة الرياح مزارع الرياح إلى نوعين:



{الشكل 2} مزارع على اليابسة و المياه

1.3.1 مزارع الرياح على اليابسة

تتألف مزارع الرياح على اليابسة من عدد من العنفات التي تشغل مساحة من الأرض ويتم ربطها مع بعضهما البعض بمحطات ربط ومنها تربط مع الشبكة الكهربائية، تختلف المساحة التي تشغلها مزرعة الرياح الواحد حسب نوع العنفات المستخدم والاستطاعة المراد الحصول عليها، كما أن طبيعة الأرض لها تأثير أيضا على مساحة المزرعة.

2.3.1 مزارع الرياح في المياه

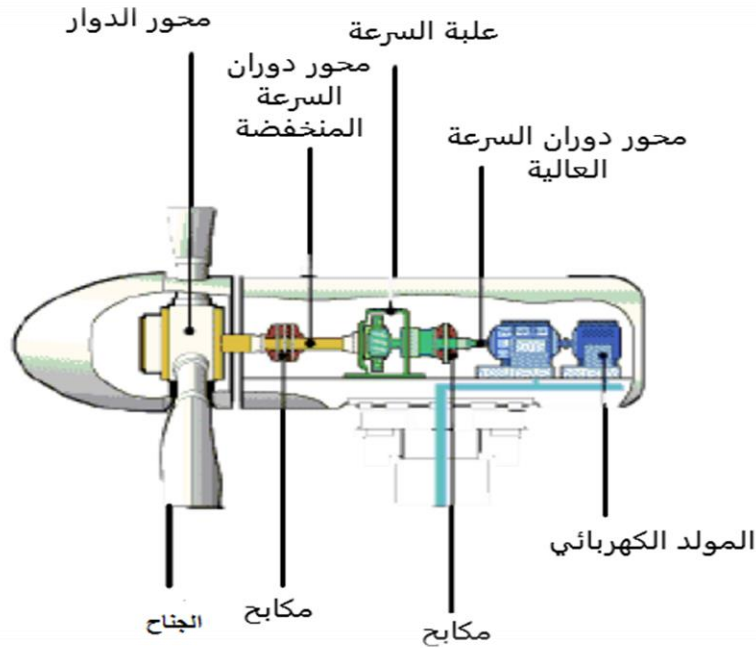
يتم تنصيب عنفات الرياح في هذا النوع من المزارع في المياه، ويمكن أن تكون مياه بحيرات ولكن غالبا ما يتم إنشاؤها في المحيطات، تعتمد هذه المزارع على الرياح البحرية التي هي في الغالب أقوى من الرياح على اليابسة مما يزيد من حجم الإنتاج الكهربائي. قد تكون العنفات مثبتة بشكل مباشر في الأرض أو من النوع العائم حيث يوجد مرساة

(2) العنفات الهوائية

هي آلة توربينية تتعامل مع الجريانات الخارجية ، حيث تقوم بتحويل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة ميكانيكية أو كهربائية يمكن استخدامها في توليد الطاقة أو ضخ المياه.

(1.2) مكونات العنفات الهوائية : [1]

تتألف هذه العنفات من المكونات التالية:



{الشكل 1.3} رسم تخطيطي يمثل أجزاء العنفات هوائية

1.1.2) أجنحة (Blades) :

مهمتها تسخير الطاقة الحركية التي تحملها الرياح لتدوير محور الدوران للسرعة المنخفضة المتصل مع الأجنحة عن طريق محور الدوار.

2.1.2) مركز الدوار (Rotor Hub) :

يوجد في مقدمة العنفة و يرتبط مع محور دوران السرعة المنخفضة من جهة بينما ترتكز الأجنحة على جوانبه، وتعد وظيفته الأساسية هي الدوران مع الأجنحة و تدوير محور دوران السرعة المنخفضة، كما يؤمن الدعم و الربط للأجنحة.

3.1.2) محور دوران السرعة المنخفضة (Low Speed Shaft) :

يرتبط مع الأجنحة عن طريق محور الدوار و يدور بسرعة الجنحة نفسها و مهمتها نقل الحركة إلى علبة السرعة التي تدور بدورانه.

4.1.2) علبة السرعة (Gear Box) :

تتألف علبة السرعة من مجموعة مسننات متراكبة مع بعضها البعض و تكون المسننات الكبيرة من جهة محور الدوران السرعة المنخفضة بينما المسننات الصغيرة تكون من جهة محور دوران السرعة العالية بهدف نقل الحركة و رفع السرعة بحيث تكون مناسبة لسرعة دوران المولد الكهربائي .

5.1.2) محور دوران السرعة المرتفعة (High Speed Shaft) :

يرتبط مع علبة السرعة من جهة و مع المولد الكهربائي من جهة أخرى عن طريق محور المولد و مهمته نقل الحركة من علبة السرعة إلى المولد الكهربائي.

6.1.2) المولد الكهربائي (Electrical Generator) :

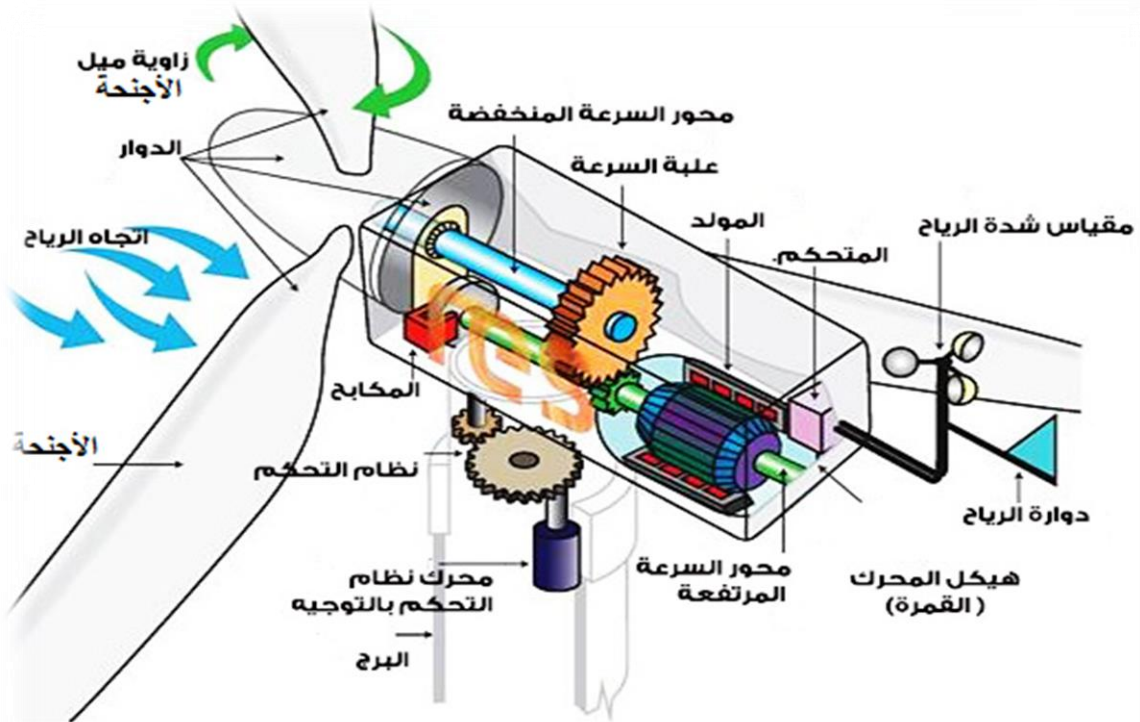
يرتبط محور المولد الكهربائي مع محور دوران السرعة العالية و يدور لتوليد الطاقة الكهربائية. تخرج الأسلاك من المولد الكهربائي و تمر عبر برج العنفة لتصل إلى محول كهربائي مهمته رفع قيمة الكمون الكهربائي. كما يرتبط هذا الأخير مع مركز التحويل الذي يربط عددا من العنفات مع بعضها البعض و يؤمن بدوره الربط مع الشبكة الكهربائية و بالتالي نقل الطاقة المنتجة من العنفات إلى الشبكة.

7.1.2) برج العنفة (Turbine Tower):

يتم تصميم البرج ليتحمل وزن جسم العنفة كاملا و تمر في داخله الأسلاك الخارجة من المولد إلي المحول كما يتم بناء السلالم داخل البرج حتى يتمكن عامل الصيانة من الوصول إلى أقسام العنفة عند الحاجة. تضم قاعدة البرج غرفة التحكم بالعنفة لمراقبة أداء العنفة و إيقافها في أوقات الصيانة مثلا كما قد يوجد المحول الكهربائي في قاعدة البرج أو خارجه. أما في قمة البرج و في نقطة الاتصال مع جسم العنفة يوجد محرك الانحراف يتصل مع الحاسوب يقوم بتحليل الإشارات القادمة من سابرات القياس، ومن ثم يرسل الحاسوب بدوره إشارة إلى المحرك ليقوم بتدوير جسم العنفة ليصبح باتجاه الرياح .

8.1.2) سابرات و مكابح (Sensors and Breaks):

يوجد في نهاية جسم العنفة سابر يقوم برصد اتجاه الرياح و سرعتها و يكون بعيدا عن تأثير الرياح التي تصطدم بالأجنحة. يتصل السابر بحاسوب ينقل له باستمرار معلومات عن سرعة الرياح و اتجاهها ليقوم هذا الأخير بتحليل الإشارات و إرسال إشارة إلى محرك الانحراف ليصح اتجاه العنفة . أما المكابح فتوجد على محاور الدوران و مهمتها إيقاف دوران العنفة عند الحاجة للصيانة أو في حالات العواصف الشديدة لتأمين الحماية للعنفة.



{ الشكل 2.3 } مكونات العنفة الهوائية أفقية المحور

(3) تصنيف العنفات الهوائية [1]

يعتمد تصنيف العنفات الهوائية على عدة اعتبارات منها محور الدوران وعدد الأجنحة وطبيعة استقبالها للرياح والغرض من الاستخدام ونظام التشغيل سواء تم ربط العنفات بالشبكة الكهربائية أو تم تشغيلها في المناطق المعزولة عن الشبكة وأيضا كان التصنيف فإن الغرض الأساسي في استخدام العنفات الهوائية هو تحويل الطاقة الحركية الموجودة في الرياح إلى طاقة ميكانيكية أو كهربائية ويتم التصنيف كما يلي :

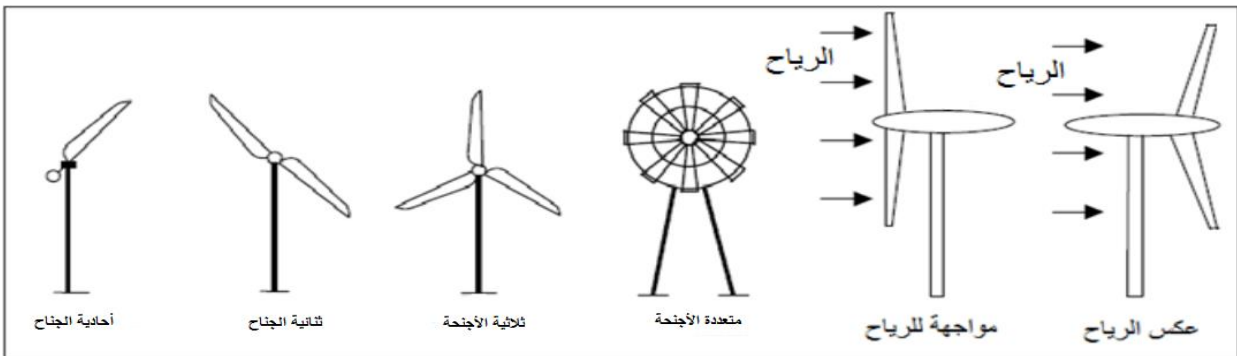
(1.3) عنفات هوائية أفقية المحور و يرمز لها بـ (HAWT):



{ الشكل 1.4 } عنفات هوائية أفقية المحور

هي من أشهر أنواع العنفات و أقدمها و أكثرها انتشارا في العالم، سمية هذه العنفة بأفقية المحور نظرا لجسمها الذي يحمل على برج و محور دورانها الموازي للأرض و لتيار الرياح أيضا يتم تصميم جناح العنفة بشكل مقطع جناح الطائرة و بالتالي عندما تصطدم الرياح بها تنشأ قوة رافعة نتيجة لفرق الضغط بين ظهر و بطن الجناح وبالتالي تسبب دوران الأجنحة. معظم الأنواع الدارجة تجاريا تقع تحت هذا النوع، كما أن معامل الاستطاعة لها عاليا نسبيا.

يمكن من باب التخصص أن تصنف حسب عدد الأجنحة التي تمتلكها العنفة، فإما أن تكون أحادية الجناح (single bladed) أو ثنائية الجناح (two bladed) أو ثلاثية الجناح (three bladed) أو متعددة الجناح (multi bladed). كما يمكن أيضا أن تصنف من اتجاه هبوب الرياح و هي على شكلين عنفات هوائية مع اتجاه هبوب الرياح و عنفات هوائية عكس اتجاه الرياح.



{ الشكل 2.4 } تصنيف العنفات الهوائية أفقية المحور حسب عدد الأجنحة و إتجاه الرياح

1.1.3) نوع ماغنوس (MAGNUS):

زاد الإهتمام في الآونة الأخيرة على مضاعفة إنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر بديلة و من أهمها الرياح لذلك نجد أنواع كثيرة لعنفات الرياح، و من أهم الأنواع التي سلط عليها الضوء مؤخرا عنفة ماغنوس التي تعرف رواجاً كبيراً خصوصاً في الصين البلد الأكثر استعمالاً لعنفات الرياح على المستوى العالم ، و هذا النوع من العنفات يستغل القوى الناتجة على دوران الأسطوانة المعروفة بتأثير ماغنوس أو قوة ماغنوس و هي قوة ناتجة عن دوران جسم دائري أو أسطواني ، بالنسبة للعنفة فإن هذه القوة تعرف بقوة الرفع حيث تدور هذه الأسطوانات مع بعضها لتشكل رفع لها في نفس الوقت و هذا ما يفسر الدوران السريع لهذا النوع من التوربينات ، كما يحتوي النوع الأشهر على خمس أسطوانات مزودة بموجهات رياح للإستفادة القصوى من قوى رفع فعالة ، كما نلاحظ أن هذا النوع من التوربينات يخضع لنظرية BEM، للحصول على الخصائص الأيروديناميكية المميزة لها .



{الشكل 3.4} عنفة هوائية نوع ماغنوس

2.3) إيجابيات و سلبيات العنفة الهوائية أفقية المحور: [1]

1.2.3) إيجابياتها:

- ✓ الأبراج العالية تضمن التعرض لرياح اقوي لان قوة الرياح تزداد بالارتفاع، كما أن طول الأبراج يسمح بتنصيب العنفات على ارتفاعات مختلفة وفي الغابات حيث يمكن أن تكون فوق خط الأشجار.
- ✓ تتوضع الشفرات على جانب مركز الجاذبية للعنفة مما يساعد في تحقيق الثبات، كما أن وجود سابر اتجاه وسرعة الرياح ومحرك الانحراف يضمن مواجهة العنفة اتجاه الرياح. كما انه يمكن التحكم بزاوية ميلان الشفرة نفسها بتأثير الرياح مما يقلل الأضرار خلال العواصف

2.2.3) سلبياتها:

نقل هذه العنفات صعب ومكلف حيث تبلغ تكاليف النقل حوالي 20 بالمائة من التكاليف الإجمالية، وتركيبتها صعب كونها تحتاج إلى رافعة ضخمة ويد عاملة خبيرة:

- ✓ يصعب تشغيلها في المناطق التي تكثر فيها الرياح القريبة من الأرض
- ✓ صيانتها صعبة
- ✓ تؤثر على أمواج الرادار والمظهر الجمالي للمنطقة بشكل عام.

3.3) العنفات هوائية عمودية المحور و يرمز لها بـ (VAWT):

يعتمد هذا التصميم على توجيه محور الدوران بشكل عمودي على الأرض، بحيث تدور الشفرات حول هذا المحور. يهدف هذا التصميم إلى إعادة تموضع علبة السرعة و المولد عند قاعدة برج العنفة مما يسهل من عمليات الصيانة والتوصيلات بالإضافة إلى أن هذا التصميم يلغي الانحناءات. لكن يتعرض هذا النوع من التوربينات الهوائية إلى عزوم الأيروديناميكية متغيرة مما يسبب أضرار في الريش بالإضافة إلى الصعوبة التحكم في التوجيه.

هذه العنفات منها ما يعمل بقوة الإعاقة الأيروديناميكية (*trainee aérodynamique*) لاستخراج الطاقة المتواجدة في الرياح و التي تعمل بقوة الرفع (*portance*) وتصنف إلى عائلتين:

1.3.3) نوع دارريوس (*Le type darrieus*):

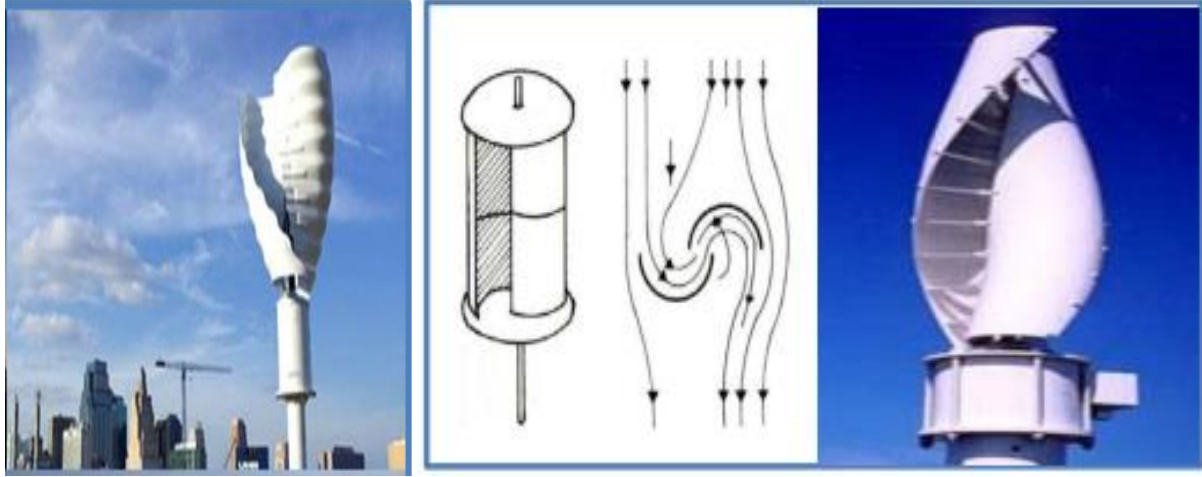
وهو تصميم بسيط مركب من الجناحين أو ثلاثة أو أكثر ،هذه الأجنحة بمقطع إيروديناميكي تعمل بقوة الرفع (*portance*)، و تثبت على حافة حامل أفقي متصل بالمحور، قد شكل الأجنحة مستقيما أو منحنيا و تعمل هذه الأنواع بسرعة الرياح المتوسطة و بمعامل استطاعة مقبول.



{الشكل 1.5} عنفة هوائية عمودية المحور نوع دارريوس

2.3.3) نوع سافونيويس (Le type de Savonius):

هي عنفات تتكون من جزئين على شكل نصف اسطوانة أو شكل بيضوي وهي شفرات متموضعة على شكل حرف S حيث أن الجانب المحدب (Convex Sidé) و الجانب المقعر (Concave Sidé) يواجهان الرياح بوقت واحد بحيث يكون العامل الرئيسي في التحريك هنا هو الإعاقة، هذه الأخيرة تكون كبيرة على السطح المقعر نسبة إلى السطح المحدب، و لذلك الجانب المقعر سيجبر العنفة على الحركة . تعمل هذه الأنواع بسرعة الرياح منخفضة و بمعامل استطاعة ضئيل.



{الشكل 2.5} عنفة هوائية عمودية المحور نوع سافونيويس

4.3) إيجابيات و سلبيات العنفات الهوائية عمودية المحور: [1]

1.4.3) إيجابياتها :

- ✓ سهولة الصيانة
- ✓ منخفضة تكاليف النقل والتركيب
- ✓ لا تحتاج إلى التوجيه باتجاه الرياح حيث تدور بغض النظر عن الاتجاه الذي تأتي منه الرياح
- ✓ تكون فعالة في الهضاب الصغيرة والتلال

2.4.3) سلبياتها:

- ✓ أقل كفاءة بالمقارنة مع العنفات ذات المحور الأفقي
- ✓ عزم إقلاعها منخفضا
- ✓ قد تحتاج القليل من الطاقة لتبدأ بالدوران.

4) عوامل تصنف العنفات الهوائية :

يرتكز هذا التصميم على ثلاثة عوامل أساسية :

1.4) السرعة النوعية λ : ان معامل التشغيل الأول يتعلق بالسرعة المماسية الطرفية (سرعة على طرف الجناح) و تعطى بالعلاقة $v = \Omega \cdot R$ (حيث Ω تمثل سرعة دوران العنفة و R نصف القطر الدوار الممثل بطول الجناح). و يدعى أيضا بمعامل السرعة أو السرعة النوعية حيث :

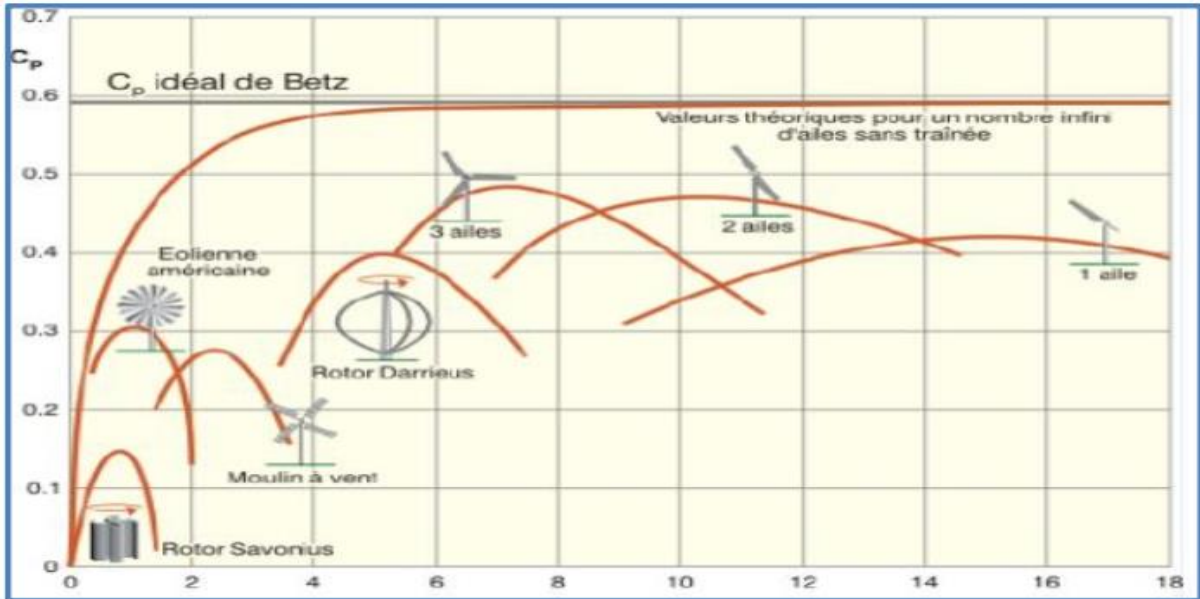
$$\lambda = \frac{\Omega \cdot R}{V_{\infty}}$$

- ✓ إذا كان $\lambda < 3$ فان العنفة بطيئة الدوران .
- ✓ إذا كان $\lambda > 3$ فان العنفة سريعة الدوران .

2.4) معامل الاستطاعة C_p : و هو النسبة بين القدرة المنتجة بواسطة العنفة و القدرة الكلية لرياح قبل دخولها إلى العنفة ، هذا المعامل يحدد مستو مردودية العنفة الهوائية ، إذا قدر الفيزيائي بيتز (Betz) القيمة القصوى ب 0.592

3.4) معامل عزم الدوران C_M : و هو النسبة بين معامل القدرة و السرعة النوعية

$$C_M = \frac{C_p}{\lambda}$$



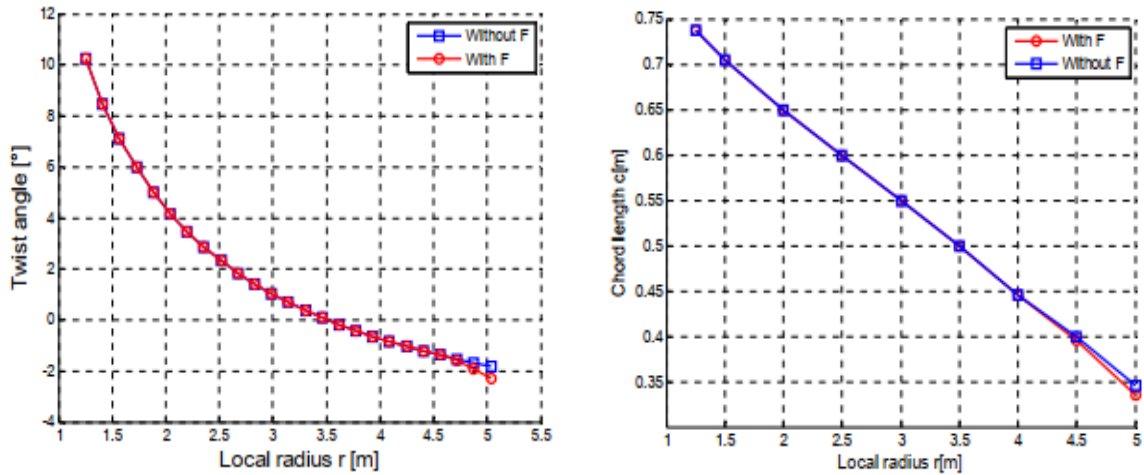
{الشكل 6} معامل الإستطاعة بدلالة السرعة النوعية

5) الدراسات التجريبية المطبقة على الجناح عنفة هوائية أفقية المحور:

لقد تكاثف جهود الباحثين و العلماء للقيام بتجارب حول أجنحة العنفات الهوائية أفقية المحور و السعي إلى تطوير الوسائل التجريبية من جهة وتخفيض ثمن التجربة من جهة أخرى و يمكن أن نلخص التجارب التي أقيمت على أجنحة العنفات فيما يلي:

1.5) الدراسة الأولى: [6]

قام كل من Y.Elkhchine و M.sriti بدراسة تعتمد على نظرية عنصر الجناح و كمية الحركة من أجل تنبؤ بأداء الايروديناميكي مع وضع تحسين لجناح عنفة أفقية المحور حيث أن في هذا العمل تم الاعتماد على نموذج رياضي مستخلص من نظرية كمية الحركة و عنصر الجناح المستعملة في عنفة ذات أجنحة أفقية المحور (HAWT) يتم تطبيق هذه الطريقة لتقييم الأداء الديناميكي الهوائي لجناح العنفات كما توفر أيضا تحسين في هندسة التصميم و الاستطاعة المقدره و تيارات الحرة لسرعة الرياح و نسبة السرعة طرفية للتصميم و عدد الجنحة و زاوية الهجوم المثالية من معايير التصميم. لتحقق من صحة النهج الجديد يتم تحليل نتائج تعديل نظرية (BEM) المقدم في هذا العمل و مقرنتها مع الأعمال السابقة .

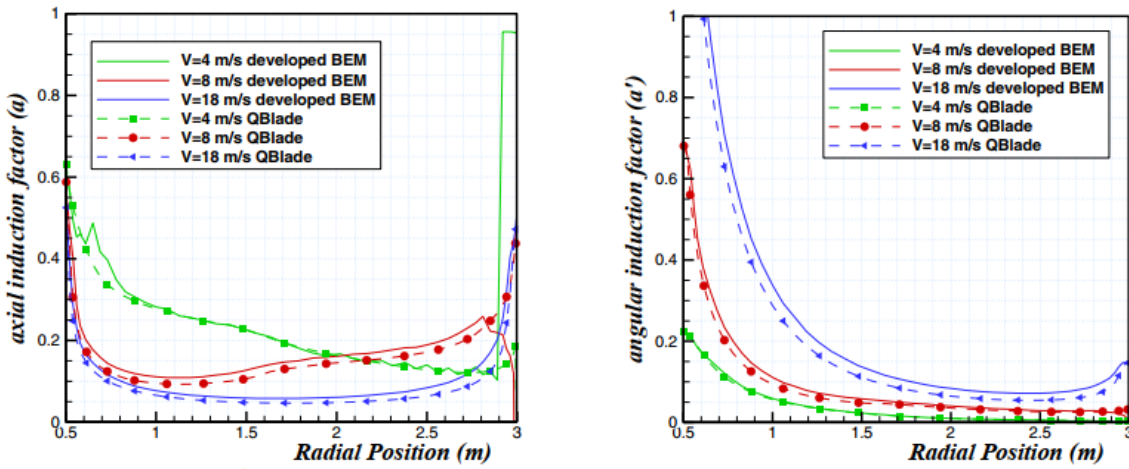


{الشكل 7} منحنى بياني يمثل نتائج تغير الوتر بدلالة المعطاة القطرية

يظهر اثر معامل التصحيح لبرانت في نتائج تغير الوتر بدلالة المحطات القطرية حيث نلاحظ تطبق المنحنيين كما و نوعا باستثناء منطقة الطرف التي يظهر فيها اثر معامل التصحيح لبرانت يؤدي هذا الأخير إلى تقليص الوتر في هذه المنطقة كما نلاحظ أيضا هذا الأثر بالنسبة لزاوية الالتفاف حيث في نفس المنطقة تكون هذه الزاوية اقل بفعل معامل تصحيح لبرانت.

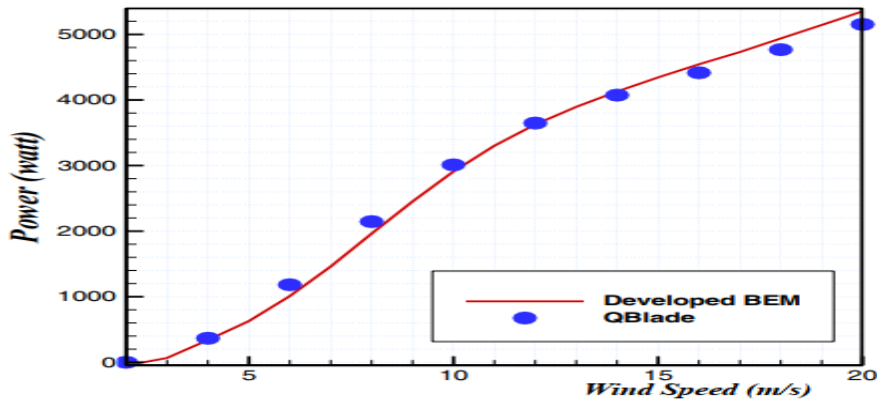
2.5 الدراسة الثانية : [2]

قام **Faisal Mahmuddin** بتحليل المعاملات الأيروديناميكية لدوار باستعمال نظرية كمية الحركة وعنصر الجناح لغرض استكشاف و استخدام طاقة الرياح على النحو الأمثل و للحصول على تصميم مثالي لجنيحات العنفة الهوائية ، حيث قام بتطوير طريقة حسابية لتحليل أداء الجنيحات لهذا الغرض و تم تطوير طريقة أخرى تعتمد على نظرية كمية الحركة و عنصر الجناح (BEMT)، في هذه الطريقة يتقسم جناح إلى عدة عناصر و يفترض عدم وجود تفاعل ديناميكي هوائي بين العناصر ، علاوة على ذلك يتم الجمع بين معدلاتي نظرية كمية الحركة و عنصر الجناح للحصول على معدلات مفيدة في عملية تصميم الأجنحة. في التحليل يمكن العثور على اتفاق ضياع السرعة في الطرف (TSL) و الجذر (TSR) من مقارنة النتائج المحسوبة بين (BEMT) و (Qblade).



{الشكل 1.8} نتائج تغيير معاملي التحريض بواسطة برنامج BEM و Qblade

نلاحظ من خلال المنحنين (a) و (b) أن هنالك توافق كمي و نوعي بين تغيير معامل التحريض المماسي و المحوري باستعمال نظرية BEM و برنامج (Qblade) لمختلف السرعات المختارة.

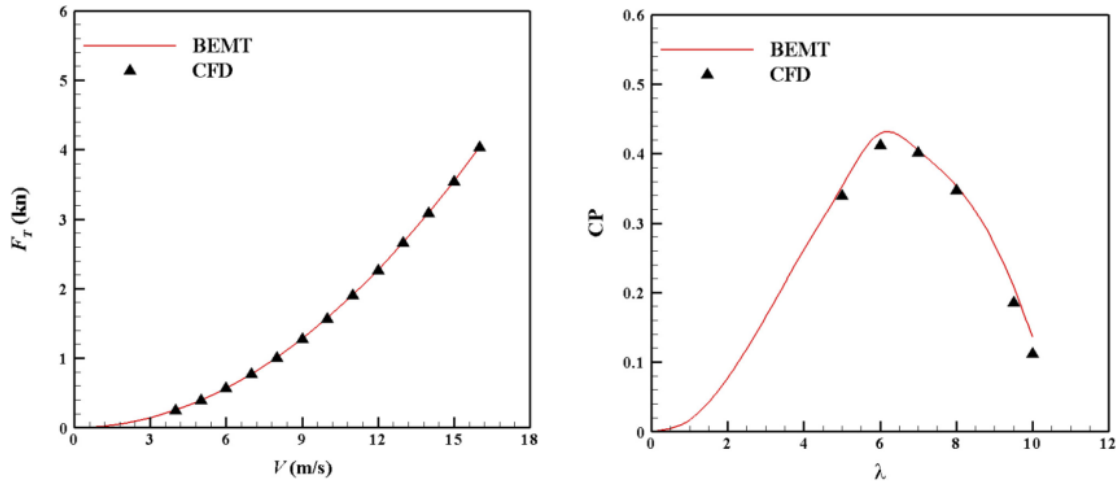


{الشكل 2.8} نتائج تغيير الإستطاعة بدلالة السرعة

من الشكل يتبين لنا توافق كمي و نوعي من حيث النتائج لكل من نظرية كمية الحركة لعنصر الجناح (BEMT) وبرنامج (Qblade) مع وجود اختلاف طفيف الذي يظهره منحى تغير الاستطاعة بدلالة السرعة.

3.5 الدراسة الثالثة: [3]

قام كل من Chi-Jeng Bai و Po-Wei Chen و Wei-Cheng Wang بتحليل و تصميم ايروديناميكي لجناح عنفة أفقية المحور. والغرض من هذه الدراسة هو تطوير العنفات الهوائية ذات المحور الأفقي على نطاق صغير لتناسب ظروف الرياح المحلية في تايوان_ تايوان ، تم تحديد إمكانيات طاقة الرياح أولاً من خلال توزيع سرعة الرياح وايبل (WEIBULL). و من ثم تم تكيفها لتصميم وتحليل جناح العنفة. تم اعتماد نهجين عدديين في تصميم جناح العنفة أفقية المحور (HAWT) تم استخدام نظرية كمية الحركة لعنصر الجناح (BEMT) لتوضيح شكل العنفات الهوائية (S823, S822) و تم بعد ذلك تعديل هندسة منطقة الجذر للجناح التوربيني لتسهيل التكامل مع نظام التحكم في الحقل ، تم تطوير نموذج رياضي لتنبؤ بالأداء الديناميكي لكل من المقطعين (S832, S822) حيث يتم حساب معاملات الرفع C_L و المقاومة C_D باستخدام معدلات BEM أخيراً تم استخدام ديناميكيات السوائل الحاسوبية (CFD) لفحص الخصائص الديناميكية الهوائية لجناح التوربينات الناتجة عن محاكات (CFD) مع تلك التي تم الحصول عليها باستخدام BEM ويلاحظ أيضاً أن تدفق الفصل المتراكم عند جذر الجناح التوربيني عند سرعات نوعية ($5 = \lambda$ ، $7 = \lambda$).

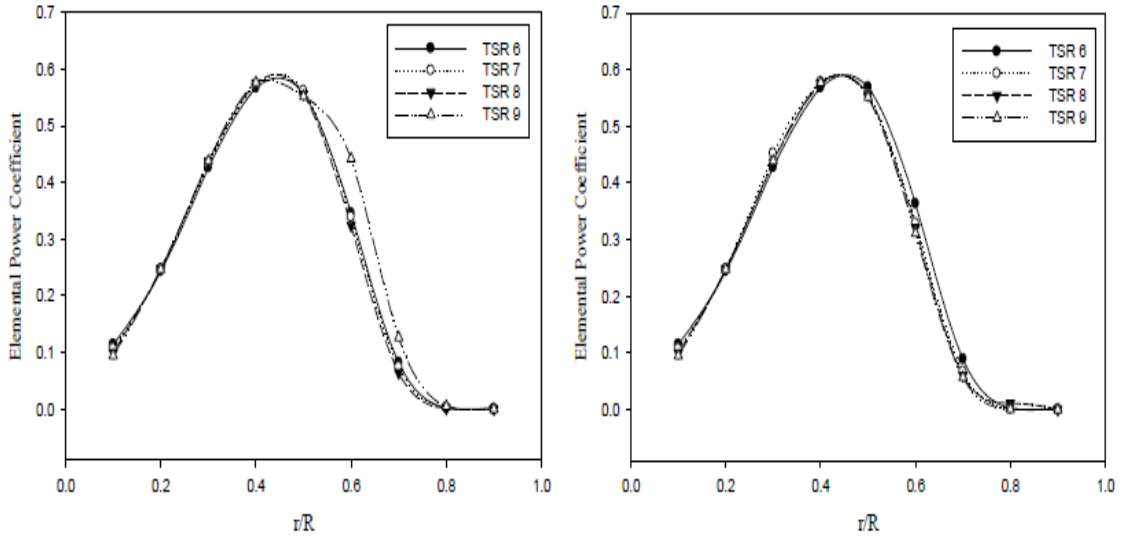


{ الشكل 9 } يوضع توافق بين نتائج (BEM) و (CFD)

من النتائج الموضحة في الشكل يتبين لنا اتفاق كل من نظرية كمية الحركة لعنصر الجناح (BEM) و استخدام ديناميكية السوائل الحاسوبية (CFD) حيث نلاحظ أن هناك تطابق بين النهجين في حساب معامل التضاعط بالنسبة للسرعة النوعية و يتجلى أيضاً في حساب القوة المحورية بدلالة سرعة الرياح.

4.5 الدراسة الرابعة: [5]

قام كل من Nitin Tenguria و N.D. Mittal و Siraj Ahmed بالتحقق من أداء العنفات الهوائية أفقية المحور على أساس نظرية كمية الحركة و عنصر الجناح (BEMT) باستخدام جنيحات NACA ، حيث تم في هذا العمل تصميم أجنحة للعنفة الهوائية ذات المحور الأفقي باستطاعة 5 كيلووات و التي تعمل بفعل في السوق .لتصميم هذا الجنيح تم استخدام نظرية كمية الحركة و عنصر الجناح (BEMT) و تطوير برنامج كمبيوتر لإتمام الإجراء الكامل ، يتم اخذ مقطع NACA لحساب مقارن لمعامل الاستطاعة الأولية و غيرها من المعاملات. الجنيح الذي تم استخدامه لتصميم المقطع يمتد من الجذر إلى حافة ، تكون الضغوط القصوى مطبقة في جذر، هذا الأخير الأكثر سمكا من جناح وبالتالي يتم الحفاظ على هذا الشكل. إن زاوية الهجوم ستكون الحد الأقصى في كل محطة من الفصل، في الشفرة المصممة يكون معامل القدرة الأولى هو الحد الأقصى في قطاع الانتقال. الطريقة الحالية مفيدة للتنبؤ بأداء جنيح العنفات الهوائية .

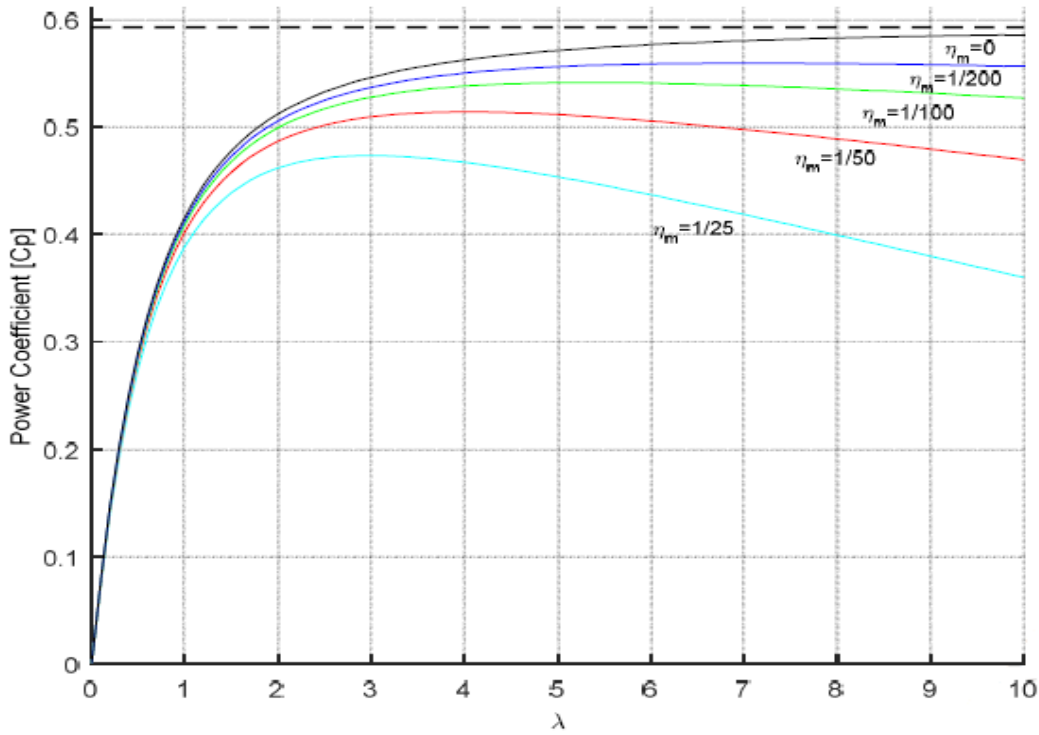


{الشكل 10} عرض نتائج معامل الإستطاعة لجناحين بناء على نظرية BEM

في هذه الورقة يتم عرض النتائج حسب معامل الإستطاعة C_p العنصرية لجناحين NACA4412 و NACA64_218 على التوالي بناء على نظرية (BEMT) حيث نجد نسبة C_l/C_d لجناح NACA4412 هو 180.91 أما للجناح NACA64_218 فإننا نجد النسبة مساوية لـ 71.9 كما يوضح الشكلين على التوالي توزيع معامل القدرة العنصري لنسبة سرعات طرف مختلفة في مقاطع الأيروديناميكية على التوالي

5.5 الدراسة الخامسة: [4]

يقدم هذا المقال تحليلاً منقحاً لتحسين الأداء الديناميكي الهوائي لعنفة الرياح ذات المحور الأفقي ، بما في ذلك تأثير المقاومة D ، اعتماداً على نظرية كمية الحركة و عنصر الجناح BEMT ثبتت أن توربينات الرياح ذات المحور الأفقي (HAWT) لا يمكن أن تصل إلى حد (Betz) ، حتي في غياب تأثيرات المقاومة ، من المؤكد انه للوصول إلى الأداء الأقصى ، يجب أن تعمل جميع العناصر الجناح في ضل أقصى نسبة رفع إلى المقاومة C_l/C_d تم اعتماد هذا الشرط في الدراسات السابقة ، ولكن بدون دليل رياضي صحيح في الواقع ، في هذه الورقة البحثية تم اعتماد طريقة مختلفة في توزيع المعاملات على المحور المماسي و الأفقي بالنسبة إلى الأعمال السابقة ، تتضمن النتائج بيانات حيث يمكن العثور على كل من نسبة سرعة التشغيل مثلي ، و معامل الضغط مثالي C_p و كذلك الحد من الأقصى نسبة C_l/C_d ، يتم عرض بعض النتائج مع مراعات تأثير المركبات الشعاعية.

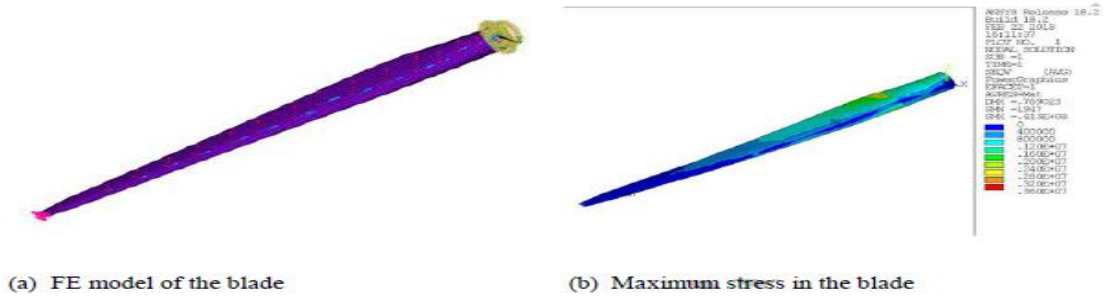


{الشكل 11} عرض نتائج معامل الإستطاعة بدلالة السرعة النوعية

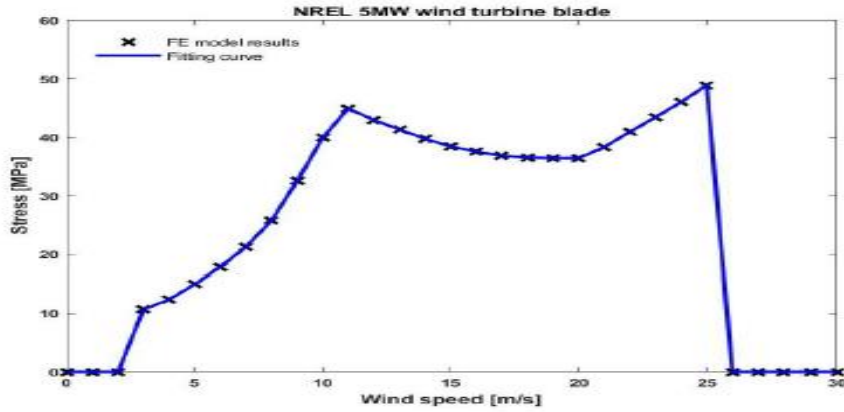
نلاحظ أن هناك علاقة طردية بين معامل القدرة C_p و السرعة النوعية λ حيث يلاحظ أيضا تأثير η_m على معامل القدرة عند $\lambda > 1$ يظهر التأثير العكسي لزيادة η_m على معامل القدرة C_p ، و تبلغ C_p قيمة عظيمة عند $\eta_m = 0$ و هذا دائما تحت حد (Betz).

6.5 الدراسة السادسة: [7]

تقدم هذه الورقة طريقة لتقدير الإجهاد المطبق على الجناح لعنفة أفقية المحور (HAWT) ، مع إستخدام نموذج مرجعي لتوربينة NREL5MW لتحقيق من هذه الطريقة المقترحة . أولا يتم تحليل توزيع الضغط للجناح من خلال نظرية BEM المصححة ، ثم يتم تقييم الأداء الديناميكي للجناح تحت سرعات رياح مختلفة ، يتم إستعمال توزيع (WEIBULL) لحساب سرعة الرياح ، ثم يتم حساب الحد الأقصى من توزيع الإجهاد و عمر الخدمة المتبقي لجنيحات التوربينة من خلال منحى دورات الضغط خلال فترة الخدمة ، و أخيرا يتم التنبؤ بعمر الخدمة المتبقي من خلال إستخدام قانون التراكم لتتلف الإجهاد الخطي ، تظهر النتائج أن النهج المقترح ذات طابع دقيق في تقدير التالف أثناء الخدمة لتوربينات .



{الشكل 1.12} تحليل FE للجنيح بسرعة الرياح



{الشكل 2.12} الضغط الأقصى لنموذج FE تمتد سرعات الرياح المختلفة

يتغير الإجهاد الأقصى بتغير سرعة الرياح كما هو موضح في {الشكل 1.12}، على أساس نتائج نمذجة للجناح FE حيث يتغير انطلاقاً من سرعة التشغيل العنفة V-cut-in إلى غاية سرعة توقف تشغيل العنفة v-cut-out، تم تحليل نموذج FE باستخدام برنامج FE ansys كما موضح في {الشكل 2.12} حيث يتم الحصول على أقصى إجهاد إنطلاقاً من سرعة 5 m/s إلى غاية 25 m/s نلاحظ أن هناك علاقة طردية بين زيادة في الإجهاد مع الزيادة في السرعة حيث يصل إلى الذروة عند سرعة التصميم ثم يستقر تقريباً بعدها ، و يتناقص أيضاً بتناقص زاوية الهجوم و هذا راجع إلى تقليل سطح التلامس مع الهواء ثم يزداد بعدها إلى بلوغ سرعة التوقيف العنفة مرة أخرى.

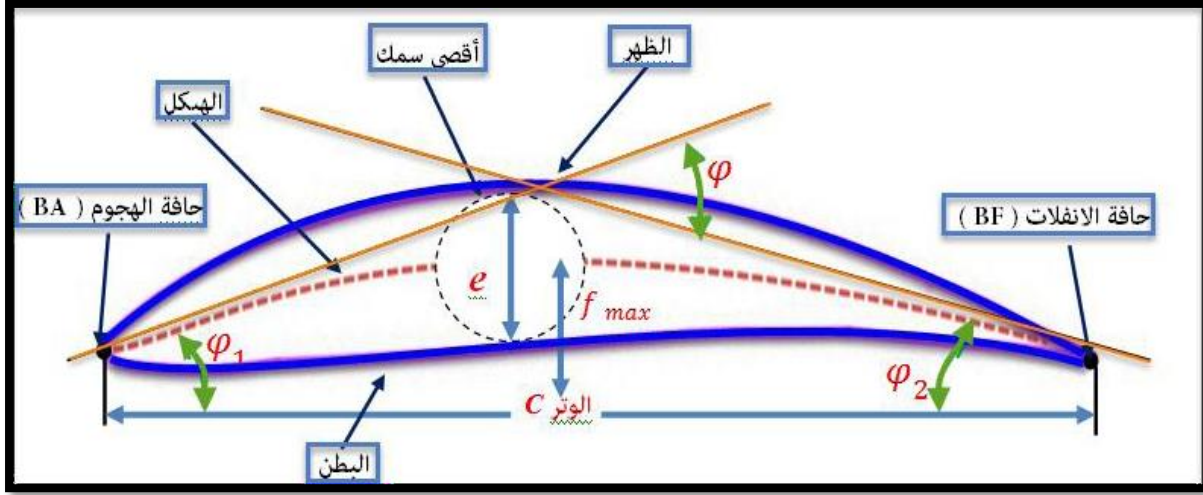
الفصل الثاني

مقدمة:

إن دراسة الجانب الطاقوي لا تكفي لتصميم الجنيح، إذ علينا أن نهتم بالجانب الهندسي الذي له أهمية كبيرة في تحديد جميع خصائصه التي تلعب دور هام في الأداء الأيروديناميكي.

(1) الخصائص الهندسية لمقطع الجناح:

الخصائص الهندسية الأساسية و يمكن تلخيصها فيما يلي:



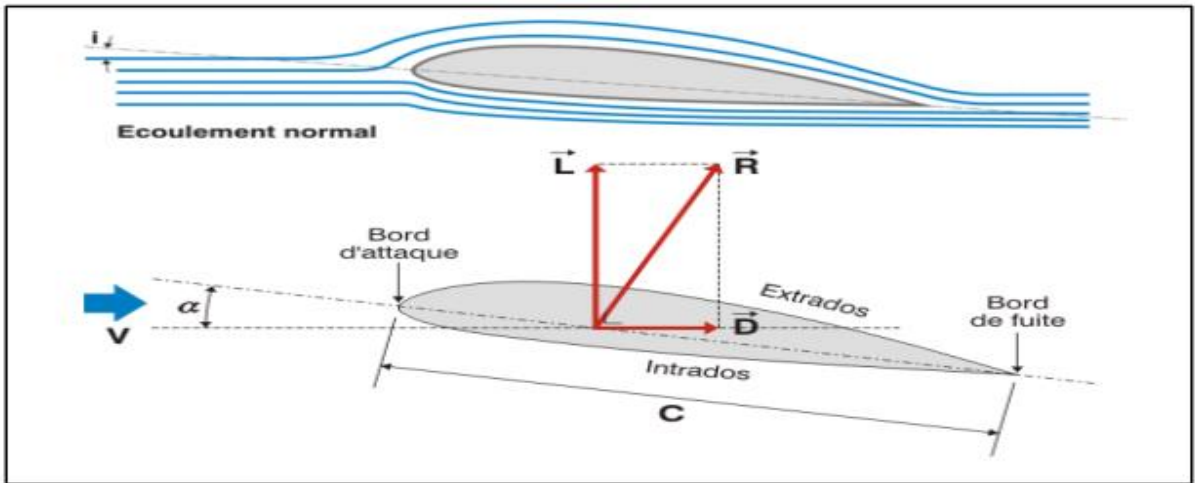
{ الشكل 1 } الخصائص الهندسية الأساسية لمقطع الجناح

- ✓ حافة الهجوم (B.A) bord d'attaque: أو حافة الاقترام: وهي نقطة في الهيئة (2D) و خط في الهيئة (3D) الذي يقع في مقدمة الجناح.
- ✓ حافة الانفلات (B.F) bord de fuit: وهي نقطة في الهيئة (2D) و خط في الهيئة (3D) الذي يقع في مؤخرة الجناح.
- ✓ الوتر الجناح / corde(c): هو البعد المستقيم بين حافتي الهجوم والانفلات.
- ✓ الظهر الجناح / extrados: هو سطح العلوي للجناح و يكون ذا شكل محدب.
- ✓ البنن الجناح / intrados: هو سطح السفلي للجناح و يكون ذا شكل مقعر.
- ✓ الميكل الجناح / squelette: هو الخط الذي يمر بمجموعة من النقاط التي تمثل مراكز الدوائر المماسية لكل من الظهر و البنن.
- ✓ سمك الجناح / épaisseur: ويمثل أقطار الدوائر المماسية لسطحي الجناح، و يمثل البعد العمودي على الوتر بين ظهر و بطن الجناح .

الفصل الثاني : أيروديناميكية العنفة الهوائية

- ✓ أقصى السمك للجناح / $\acute{e}paisseur\ maximum$: هو أكبر بعد عمودي على الوتر بين سطحي الجناح.
- ✓ الانحناء / $fl\grave{e}che\ (f\ max)$: و يمثل المسافة بين الهيكل و الوتر.
- ✓ السمك النسبي للجناح / (e_{max}/c) : و يمثل أقصى سمك منسوب إلى طول الوتر e_{max}/c
- ✓ التحدب النسبي الهندسي / (f_{max}/c) : و يمثل أكبر انحناء منسوب إلى الوتر.
- ✓ نصف القطر النسبي لحافة الاقترام / (r_{LE}/c) : و يمثل نصف قطر حافة الهجوم r_{LE} منسوب إلى طول الوتر.
- ✓ نصف القطر النسبي لحافة الانفلات / (r_{TE}/c) : و يمثل نصف قطر حافة الانفلات r_{TE} منسوب إلى طول الوتر
- ✓ طول الجناح أو ارتفاعه / (h) : و يمثل البعد بين جذر الجناح و رأسه.
- ✓ الزاوية ϕ_1 : وهي الزاوية الواقعة بين خط المماس الهيكل عند حافة الاقترام و الوتر.
- ✓ الزاوية ϕ_2 : وهي الزاوية الواقعة بين خط المماس الهيكل عند حافة الانفلات و الوتر.
- ✓ الزاوية التحدب ϕ : و هي الزاوية التي تمثل الفرق بين الزاويتين ϕ_1 و ϕ_2

(2) القوى الأيرو ديناميكية لجناح العنفة:

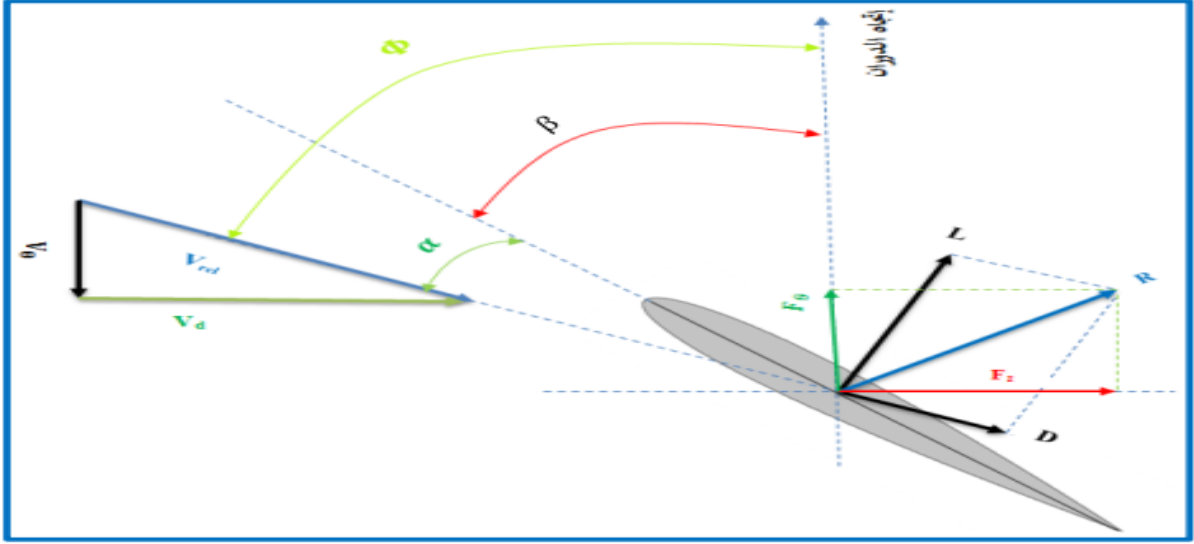


{الشكل 1.2} القوى الأيرو ديناميكية للعنفة الهوائية أفقية المحور

أثناء عبور الرياح حول الجناح يمتص هذا الأخير كمية من الطاقة الحركية للهواء حيث يكون الجريان سريع على مستوى الظهر بينما يكون جريان بطيء على مستوى البطن و حسب قانون برنولي

الفصل الثاني : أيروديناميكية العنفة الهوائية

Théorème de Bernoulli فان الضغط ينخفض على مستو الظهر بينما يرتفع على مستوى البطن وبذلك تتولد قوى أيروديناميكية، هذه القوى تتمثل في قوى الإعاقة \vec{D} المنطبقة على حامل السرعة النسبية للهواء (في اتجاه السرعة النسبية) وقوة عمودية عليها المتمثلة في قوة الرفع \vec{L} ، هذه الأخيرة تتسبب في تحويل الطاقة الحركية إلى طاقة ميكانيكية.



{الشكل 2.2} محصلة القوى ومثلث السرعات

يبين لنا هذا الشكل القوى المطبقة على مقطع الجناح، هذا المقطع يتحرك إلى الأعلى داخل الحيز الدوار «في الحقيقة تكون الحركة وفق المسار الدائري للجناح»، حيث \vec{R} محصلة القوتين السابقتين \vec{L} و \vec{D} ، وبإسقاط هذه المحصلة على المحور الأفقي نتحصل على المركبة $\vec{F}_u \cdot V_\theta$ و V_d تمثلان السرعة المماسية المرتبطة بدوران الجناح و سرعة اقتحام الهواء للدوار على التوالي ، هاتين سرعتين يشكلان مع السرعة النسبية V_{rel} مثلث السرعات كما في الشكل حيث نعين الزوايا التالية:

✓ **زاوية الهجوم (α) Angle d'attaque**: و هي الزاوية المحصورة بين حامل وتر الجناح وحامل شعاع السرعة النسبية .

✓ **زاوية الالتفاف (β) Angle de vrillage**: وهي الزاوية المحصورة بين حامل وتر الجناح و مستوي الدوران.

✓ **زاوية الجريان النسبي (φ) Angle d'écoulement relatif**: و هي الزاوية المحصورة بين مستوى الدوران وحامل شعاع السرعة النسبية V_{rel} .

$$\varphi = \beta + \alpha$$

إن تعيين حقل السرعات و زوايا الاقترام بالنسبة لمقطع الأجنحة هو عنصر أساسي في مدى تقدير الشحنة الديناميكية على الدوار و كذلك الاستطاعة الناتجة من العنفة الهوائية

(3) محطة السرعات والقوى لجناح العنفة الهوائية :

سرعة الرياح V_w : وهي سرعة اقترام الرياح للجناح تكون موازية لمحور دوران العنفة .

السرعة النسبية للرياح V_r : ويوجه الجناح في اتجاه هذه السرعة تقريبا .

السرعة المماسية V_b : تدفع الجناح في الاتجاه العكسي للدوران وتكون عمودية على محور الدوران .



{الشكل 3} السرعات المؤثرة على العنفة

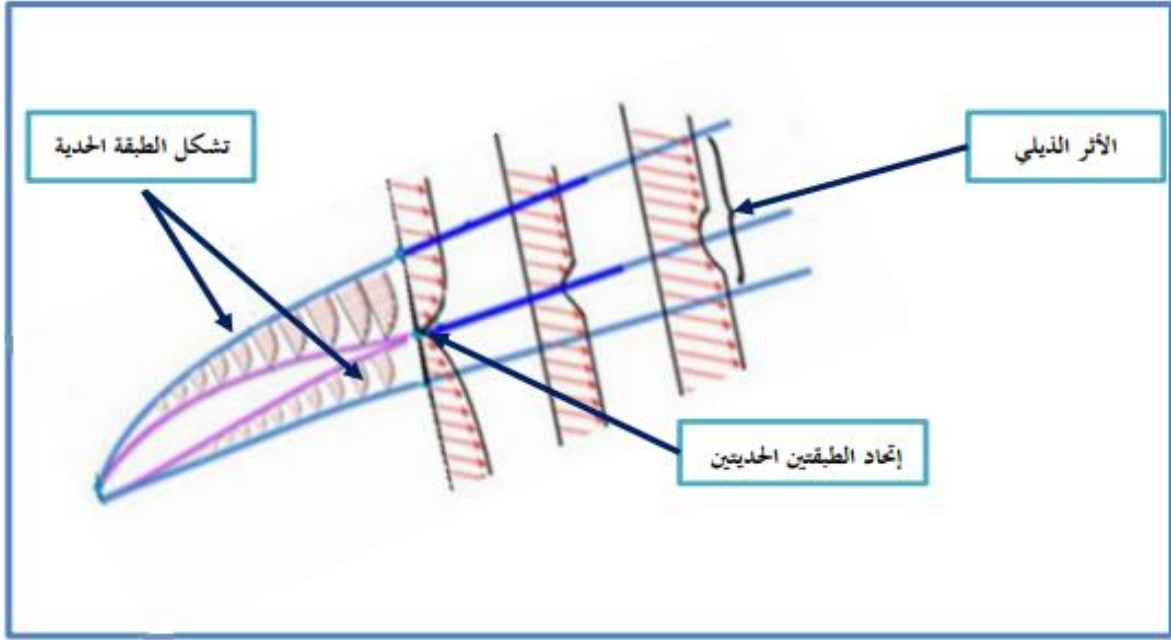
(4) العوامل المتحكمه في القوى الأيروديناميكية :

إن أهم العوامل التي تتحكم في القوى الأيروديناميكية (الرفع و الإعاقة) على كل من مقطع عرضي للجناح هي على التوالي:

- ✓ السرعة النسبية
- ✓ زاوية الاقترام
- ✓ الخصائص الفيزيائية لجريان السائل
- ✓ هندسة الجناح
- ✓ الأثر الذيلي الذي ينشئ سرعة تحريضية على كل مقطع من الجناح. هذه السرعة في الأصل ماهي إلا تطور للشحنة الأيرو ديناميكية المحمولة على الأجنحة ،التي تحدث تغيير في قيمة زاوية الاقترام على كل مقطع عرضي للجناح.

(5) تشكل الأثر الذيلي :

تتشكل طبقتين حديتين على ظهر و بطن الجناح وذلك بسبب تولد السرعة النسبية بين الجناح و تيار الهواء القادم، عند اتحاد هاتين الطبقتين الحديتين عند حافة الانفلات للجناح يظهر لنا ما يسمى بالأثر الذيلي . حيث بينت التجربة لجريان حول الجناح ثابت دون دوران انه يتشكل على حوافه دوامات حدية تسمى بالدوامات الثانوية ، التي تزاح بواسطة الجريان. و هذه الدوامة تؤثر على الشحنة الأيروديناميكية على الجناح . وتنخفض بزيادة البعد عن المحور و هي تأخذ شكل لولبي.



{ الشكل 4 } ظاهرة تشكل الأثر الذيلي للعنفة

(6) أنواع المقاطع الأيروديناميكية المستعملة في جناح العنفة الهوائية:

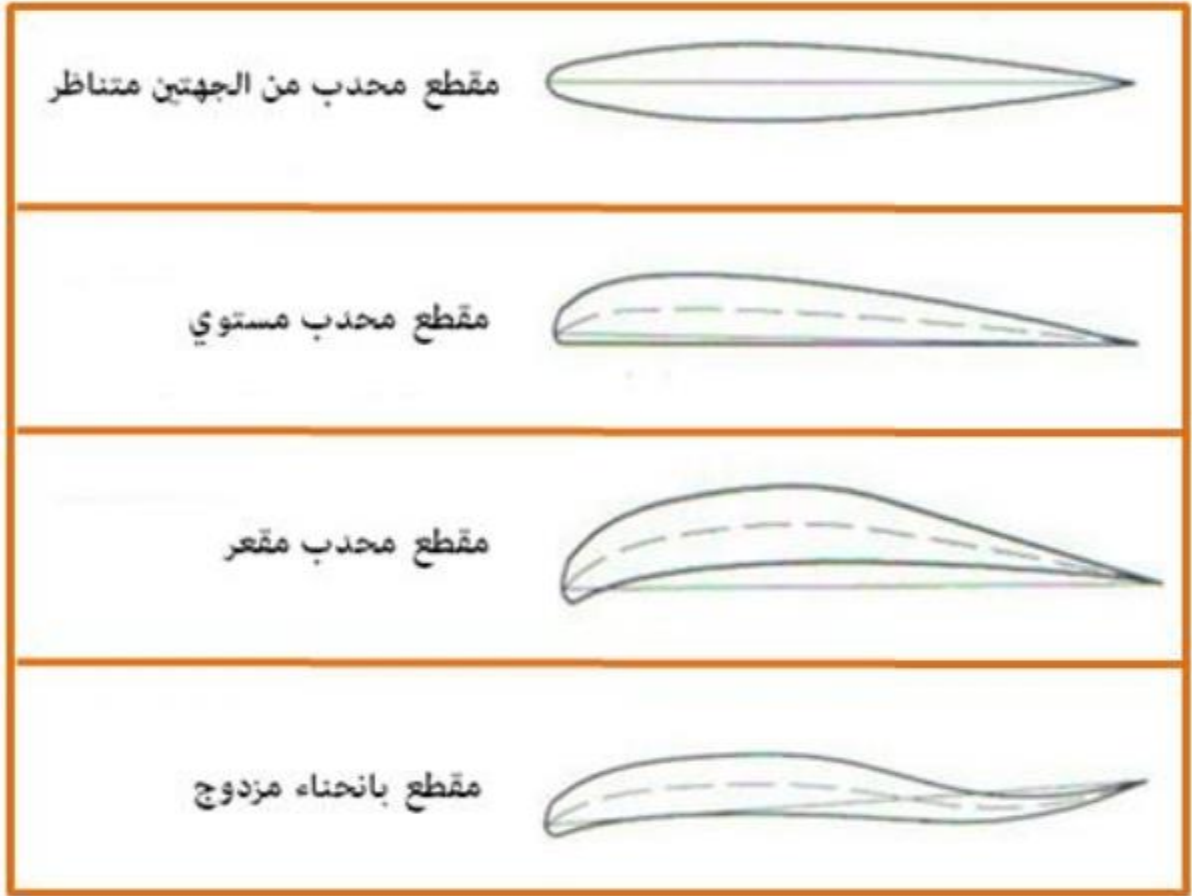
مقطع محدب من الجهتين متناظر (profil biconvexe symétrique): يكون الظهر محدب والبطن محدب كذلك مع وجود تناظر

مقطع محدب مستوي (profil plan convexe): يكون الظهر محدب والبطن مستوي.

مقطع محدب مقعر (profil creux): يكون الظهر محدب والبطن مقعر.

مقطع بانحناء مزدوج (profil a double courbure): يكون الظهر محدب والبطن مقعر من الأمام وعند الذيل يكون الظهر مقعر والبطن محدب .

الفصل الثاني : أيروديناميكية العنفة الهوائية



{ الشكل 5 } أنواع المقاطع الأيرو ديناميكية المستعملة في جناح العنفة الهوائية

(7) تسمية الأجنحة: [8]

يعرف كل جناح باسمه الذي يرتبط بخصائصه الهندسية الأيروديناميكية ،حيث تختلف هذه التسمية من مصمم إلى آخر، ويمكن تمثيلها حروفا وأرقاما لوصف الجناح وصفا دقيقا وتوجد تسميات بخمسة أرقام، ستة أرقام ...،مثل $NACAxyz$ وهي تسمية بأربعة أرقام حيث تعني هذه التسمية :

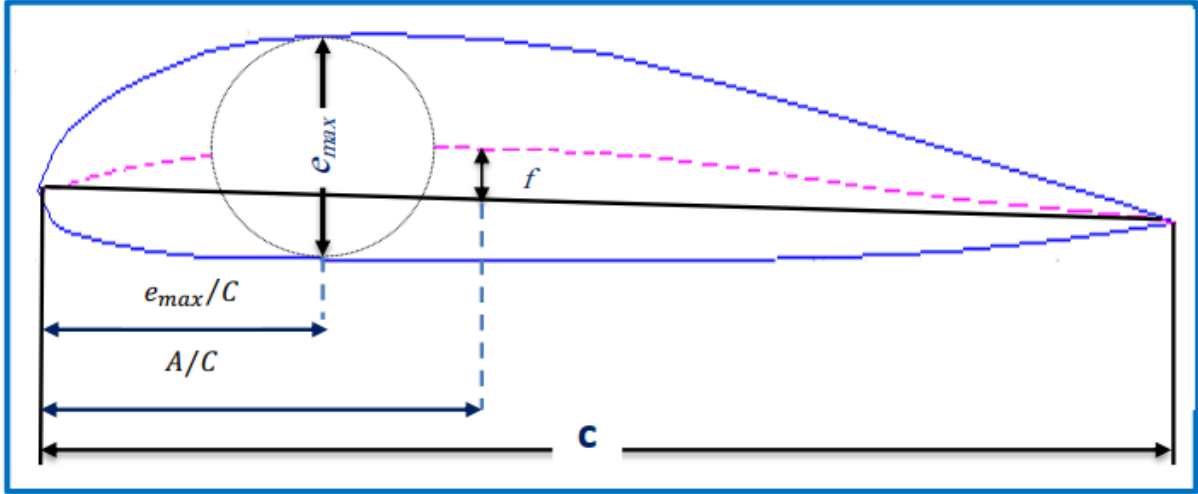
✓ NACA: اسم الصانع

✓ x : القيمة القصوى للتحذب النسبي للوتر حيث: $x = \frac{f_{max}}{c\%}$

✓ y : يشير إلى موضع أكبر تحذب بالنسبة للوتر انطلاقا من رأس الجناح A/c

✓ xx : القيمة القصوى للسمك النسبي.

✓ zz : القيمة القصوى للسمك النسبي e_{max}/c



{ الشكل 6 } موضع أكبر تحدب و أكبر سمك

8) عائلات مقاطع الأجنحة المستعملة في العنفة الهوائية: [8]

الأجنحة المستعملة في العنفة الهوائية نوعان منها ما هو مستعمل في علم الطيران بصفة عامة نذكر منها: عائلة:

NACA63-4 xx ✓

NACA63-6xx ✓

NACA64-4 xx ✓

و أخرى طورت خصيصا للعنفات الهوائية:

FFA W - xxx : عائلة ✓

RisØ-A1- xxx : عائلة ✓

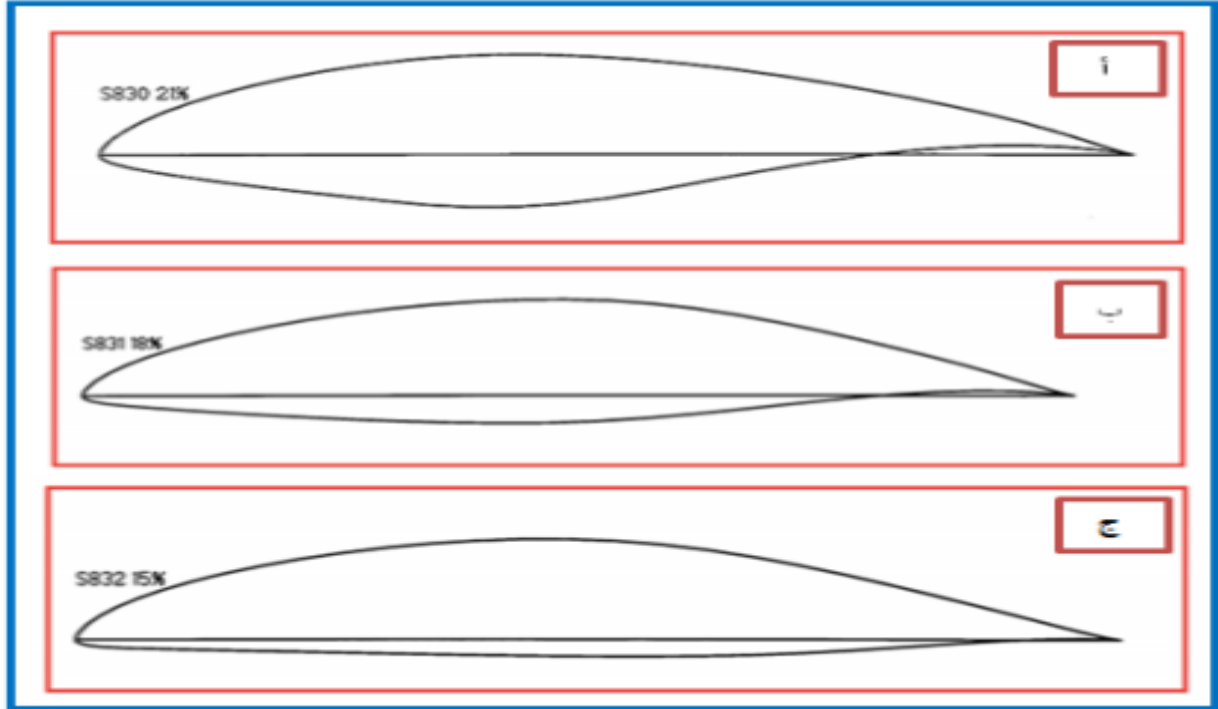
DU xx-W- xxx : عائلة ✓

1.8) سلسلة مقاطع أجنحة S8xx:

إن غالبية الأجنحة من سلسلة S8xx المستعملة اليوم في تطبيقات العنفات الهوائية ذات المحور الأفقي صممت في البداية وطورت أساسا للطائرات، من طرف NACA سابقا أو NASA التي تختلف تماما وبشكل ملحوظ عن أجنحة العنفات الهوائية. ولهذا قد تم تعديل وضبط مواصفاتها الهندسية وخصائصها الفيزيائية من طرف المخبر الوطني للطاقات المتجددة في الولايات المتحدة الأمريكية NREL.

2.8 سلسلة مقاطع أجنحة S830, S832 و S831 :

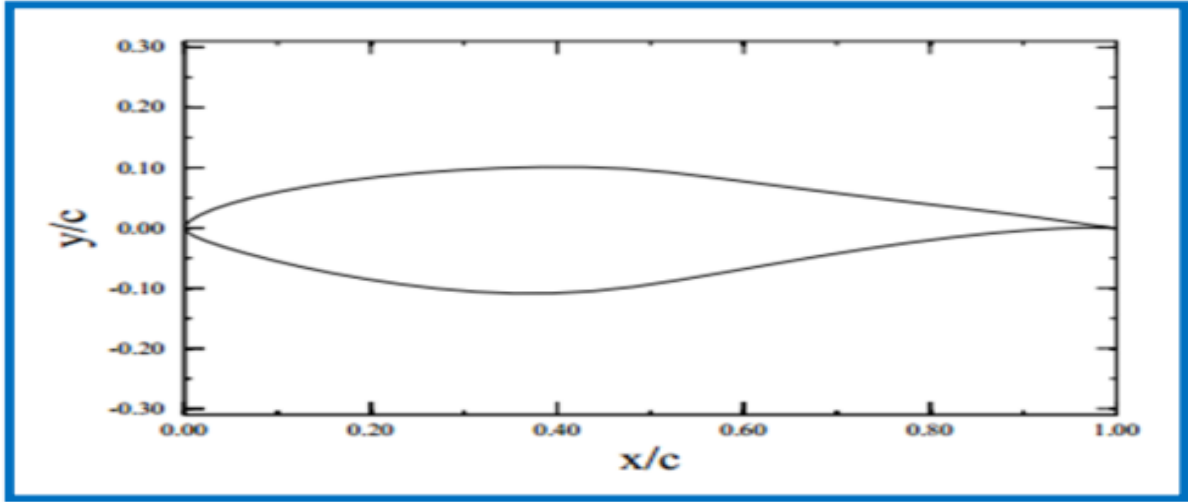
هذه الجنحات S830, S832 و S831 كما هو موضح في الأشكال أسفله، تم تصميمها وتحليلها نظريا، قد حققت توافقا معتبرا ببلوغ أقصى ارتفاع لمعامل الرفع الغير متأثر نسبيا بخشونة سطح حافة الاقحام مع انخفاض في معامل الإعاقة. أما خصائص الانفصال على الأجنحة فقد تم السيطرة عليها، وهذا ما يتحقق مع أهداف التصميم. كما أن الاجتهادات على معامل عزم الدوران العرضي وسمك الجناح مرضية.



{ الشكل 1.7 مقاطع الأجنحة S830 S831 S832 }

3.8 مقاطع الجناح S809 :

صمم هذا النوع S809 خصيصا للاستعمالات في العنفات الهوائية أفقية المحور ذات السرعات المنخفضة. فهو ذو السمك 21% والجريان الصفيحي إذ يبلغ وتره 600 ملليمتر والمدى 1248 ملليمتر. حيث بعد عرضه لعدة تجارب (اضطرابات هوائية، سرعات المنخفضة) وباستعمال أعداد رينولدز مختلفة، و دراسات تحليلية متنوعة (نمط دائم، اهتزازات حول المحور العرضي وحالات السطح الأملس والخشن) تم ضبط وتحسين معامل الرفع لأقصى قيمة دون أن يتأثر بحالة السطح الخشنة، مع التخفيض في معامل الإعاقة وهذا ما يميزه عن باقي المقاطع الأيروديناميكية لأجنحة العنفات.



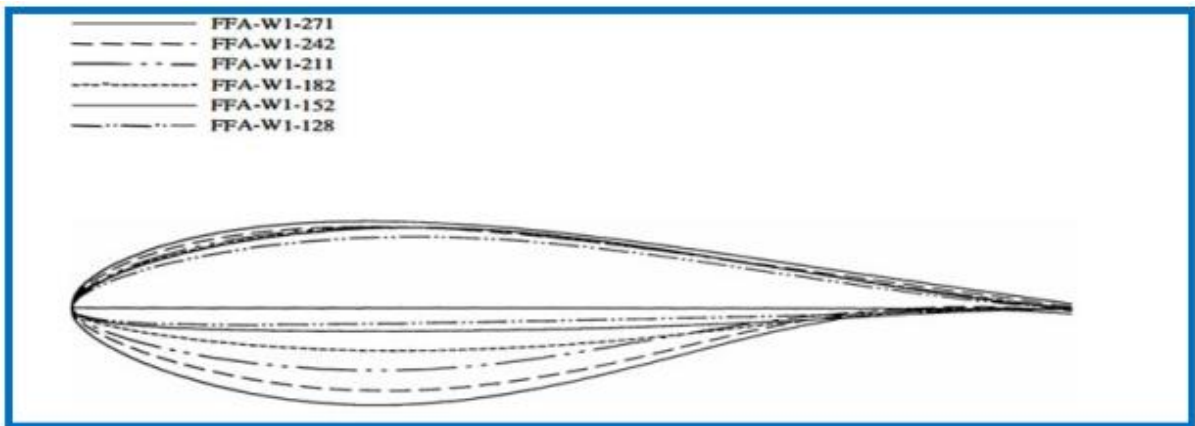
{الشكل 2.7} يمثل مقطع جناح S809

4.8 سلسلة مقاطع أجنحة FFA- W-xxx :

إن مقاطع الأجنحة من سلسلة FFA- W-xxx المستعملة في العنفات الهوائية ذات المحور الأفقي، المصممة من طرف معهد أبحاث الطيران السويدي (FFA). صممت في بادئ الأمر لعنفات أفقية المحور ذات أقطار تقدر بـ 45 متر. هذه الأخيرة كانت تعمل عند نسبة ثابتة لسرعة حافة الأجنحة، كما يمكن التحكم فيها بتوجيه الحجر المعلقة حسب اتجاه الرياح. وقسمت إلى ثلاث مجموعات (سلاسل) مختلفة نذكرها كالتالي:

✓ السلسلة الأولى FFA- W1-xxx: وهي سلسلة مقاطع الأجنحة التي يشكل السمك

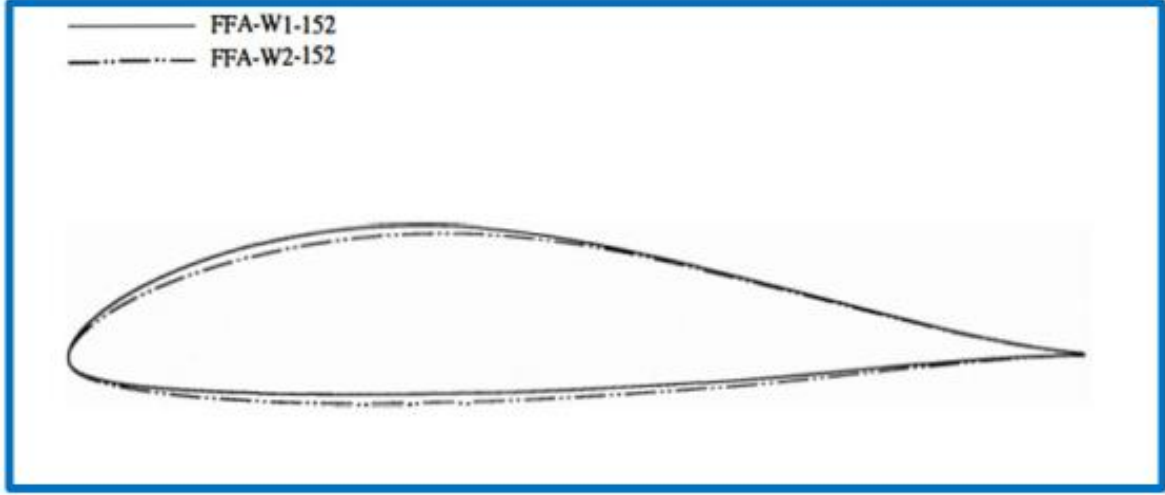
فيها نسبة 12.8% إلى 27.1% من الوتر. وتصميم معامل الرفع يمتد من 0.9 إلى 12.8%،
1.05 إلى 15.2% و 1.2 إلى 27.1% من مقطع الجناح.



{الشكل 3.7} سلسلة مقاطع الأجنحة FFA-W1-xxx

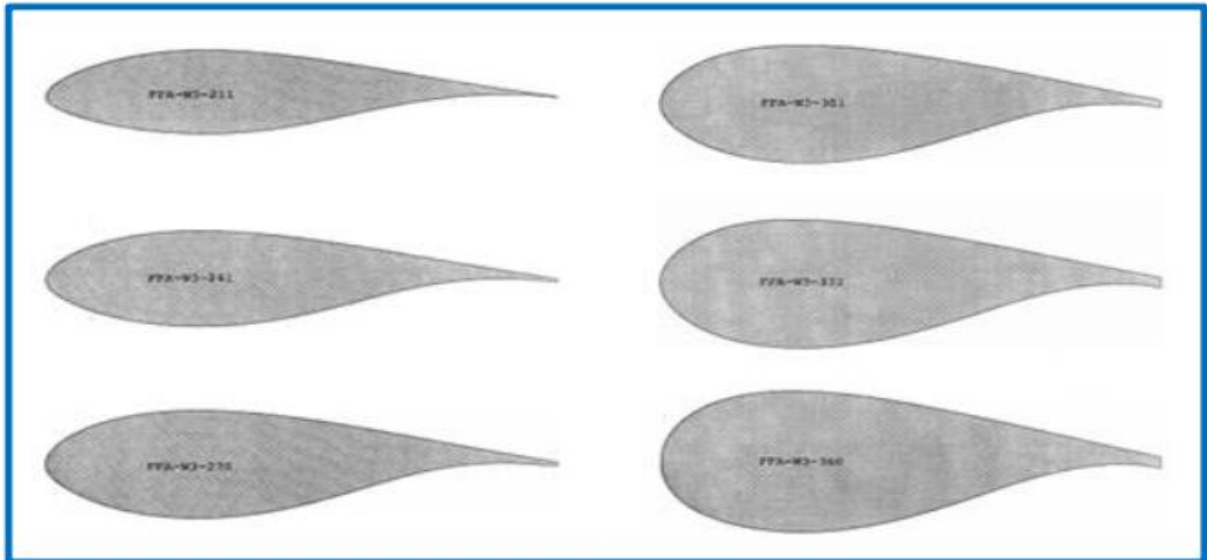
الفصل الثاني : أيروديناميكية العنفة الهوائية

✓ **السلسلة الثانية FFA-W2-xxx**: هذا النوع من مقاطع الأجنحة السويدية صمم بمعامل الرفع يقدر حوالي ب 0.15 وحدة اقل من مقاطع السلسلة الأولى



{ الشكل 4.7 } سلسلة مقاطع الأجنحة FFA-W2-xxx

✓ **السلسلة الثالثة FFA-W3-xxx**: هذه السلسلة الأخيرة لديها تصميم لمقطع الجناح تتراوح فيه قيمة السمك النسبي ما بين 19.5% إلى 36%. حيث تصميمها الهندسي الناتج عن ترفيق سمكها من 21.1% إلى 19.5% يتوافق مع مقاطع أجنحة مما يزيد من تحسن العوامل الأيروديناميكية للجناح



{ الشكل 5.7 } سلسلة مقاطع الأجنحة FFA-W3-xxx

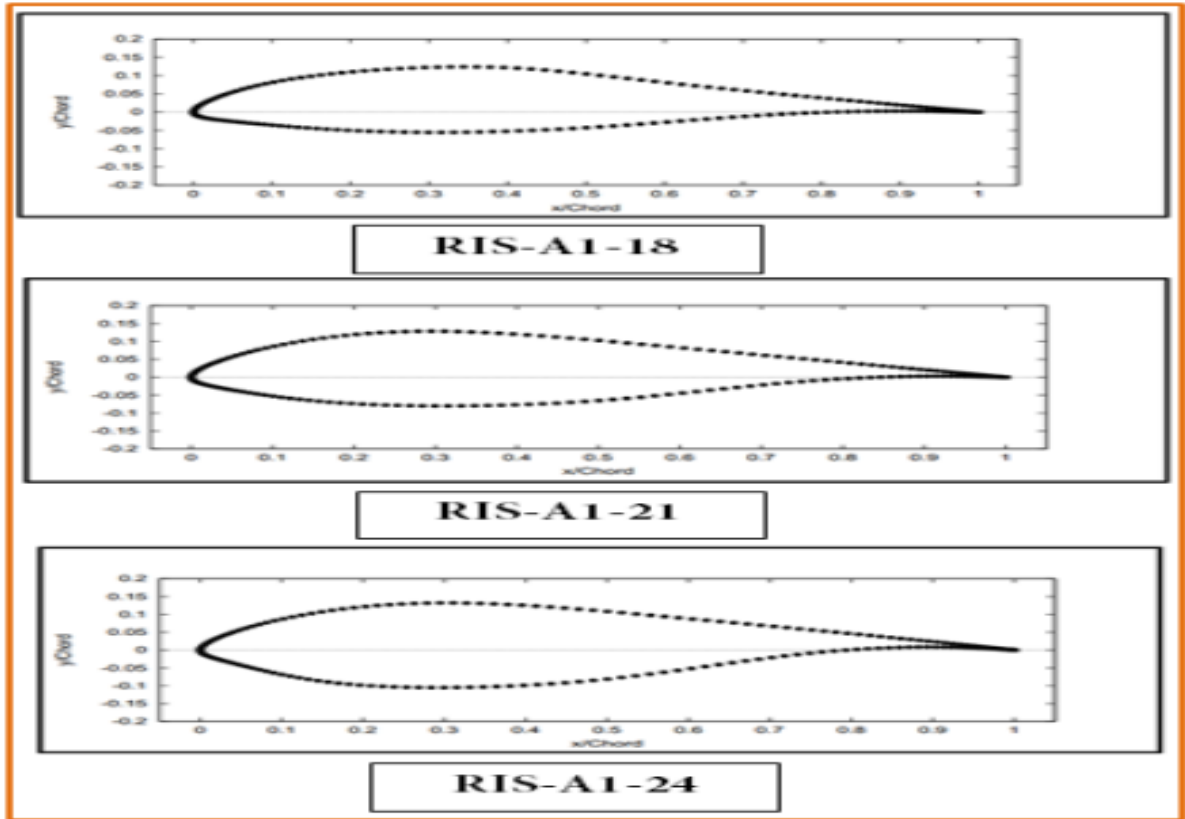
5.8) سلسلة مقاطع أجنحة Risø-A1-xxx

في هذه السلسلة من المقاطع عرضت ثلاث أنواع للتجارب والدراسة التحليلية ، حيث طورت وحسنت من طرف المخبر الوطني الدنماركي Risø. فهي تمتاز بحافة انفلات نوعا ما حادة ، وهي على التوالي:

RIS-A1-18 ✓

RIS-A1-21 ✓

RIS-A1-24 ✓



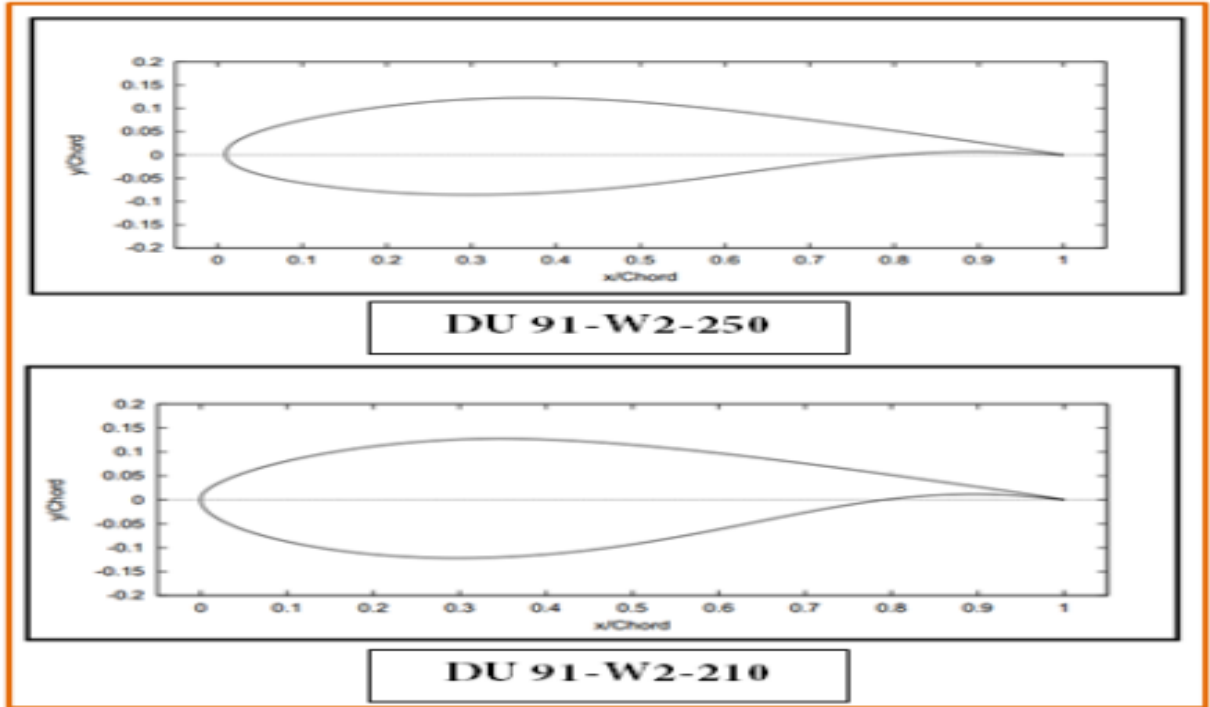
{الشكل 6.7} مقاطع أجنحة Risø-A1-xxx

6.8) سلسلة مقاطع أجنحة DU xx-W-xxx

وهي المقاطع ذات سمك نسبي يقدر ب 25%، 21% على الترتيب، صممت من طرف "timmer" لغرض تحقيق جريان صفيحي مع معامل رفع يبلغ أقصى قيمة له حوالي 1.5.

DU 91-W2-250 ✓

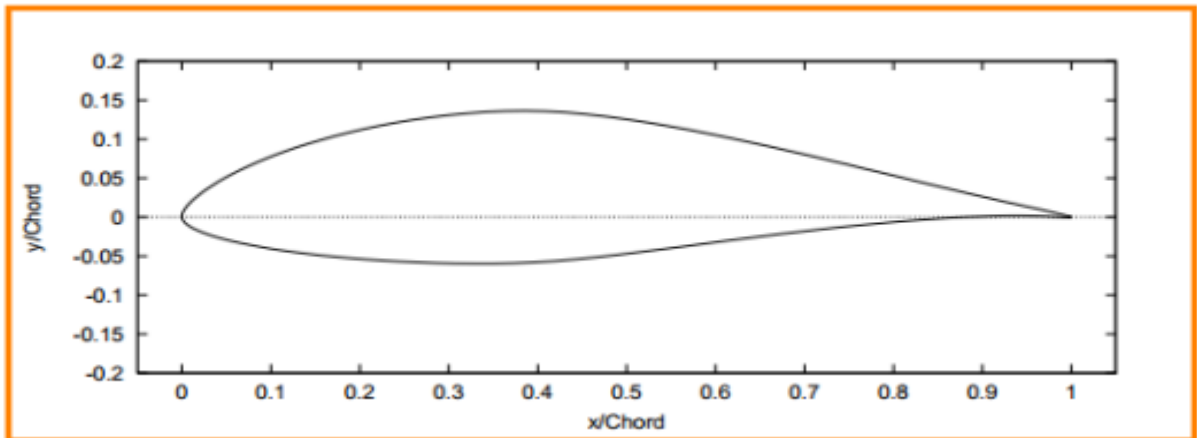
DU 93-W-210 ✓



{الشكل 7.7} يمثل مقطع الجناح DU xx-W-xxx

7.8) مقاطع الجناح FX66-S196-V1

هذا المقطع ذو السمك النسبي 19%، ذو الجريان الصفي. صمم من قبل البروفيسور فورتمان (wortman) وألتان (Althans) من جامعة شتوتغارت الألمانية. وهو نموذج من مجموعة سلسلة الأجنحة FX66-S196-V1 التي صممت خصيصا للطائرات الشراعية (بدون محرك) في بداية الأمر ثم عدلت وضبطت للاستخدام في العنفات الهوائية.



{الشكل 8.7} مقطع الجناح FX66-S196-V1



الفصل الثالث

المقدمة

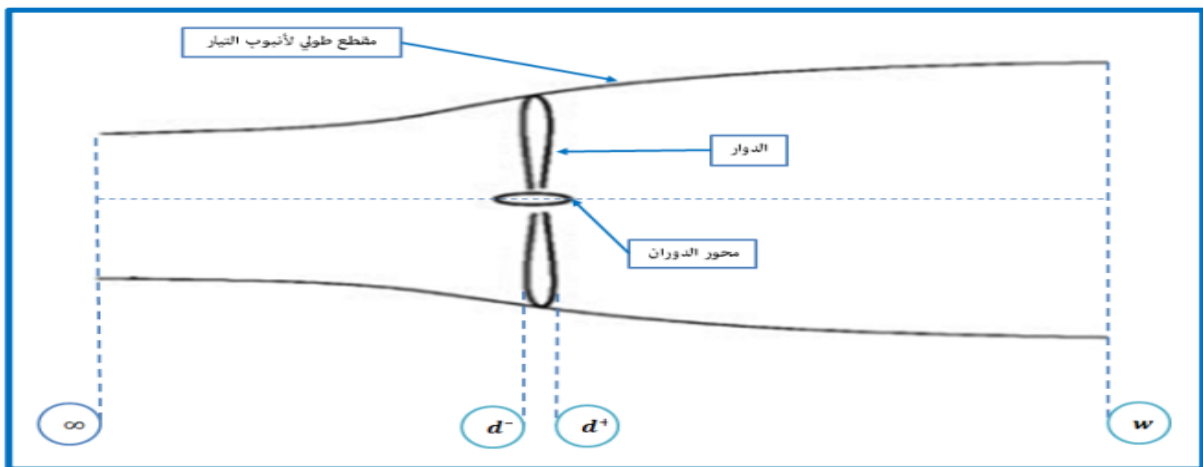
يهدف هذا الفصل إلى معرفة كمية الطاقة الممتصة من الهواء بواسطة العنفة الهوائية، أيضا إلى كيفية تصميم دوار العنفة الهوائية وذلك من خلال حساب القيم المثلى لكل من زاوية التثبيت ووتر الجناح كذلك تطبيق طريقة كمية الحركة عنصر الجناح لحساب استطاعة العنفة عزم المزدوجة وقوة الدفع المسلطة على الدوار. للتعامل مع هذه المسألة نطبق مبدأ القرص الفاعل (*disque actuateur*) وذلك من خلال نموذج بيتز (*Betz*) الذي يعتبر الأثر الفيل بدون حركة دورانية.

1) طريقة كمية الحركة - عنصر الجناح [8][13]

تتكون هذه الطريقة من جزئين، جزء الأول يتمثل في نظرية كمية الحركة و الذي يتم من خلاله دراسة لأنبوب التيار المار عبر الدوار و ذلك بافتراض أن الدوار قرص نفوذ يتم على مستواه دراسة توازن العزوم و القوى الأيروديناميكية في الاتجاه المحوري و الزاوي، أما الجزء الثاني فيتمثل في نظرية عنصر الجناح و التي تهتم أيضا بدراسة تحليلية للقوى و العزوم الأيروديناميكية على الجزء العنصري من الجناح

1.1 نظرية كمية الحركة:

تمت دراسة هذا النموذج من طرف رانكين، فرود، غلوارت (*Rankine, Froude, Glauert*) بالنسبة لنظرية كمية الحركة تتركز حسب نموذج بيتز على ثلاث معادلات: معادلة الاستمرار، معادلة كمية الحركة الخطية ومعادلة الطاقة (صيغة تكاملية)، الهدف من استعمالها هو حساب كل من استطاعة P المرتبطة بالدوار وقوة الدفع T المسلطة عليه أو بالأحرى معامل استطاعة C_p ومعامل الدفع C_T وهي بالطبع تمثل الشق الأول الخاص بطريقة كمية الحركة عنصر الجناح.



{ الشكل 1.1 } مقطع طولي لأنبوب التيار

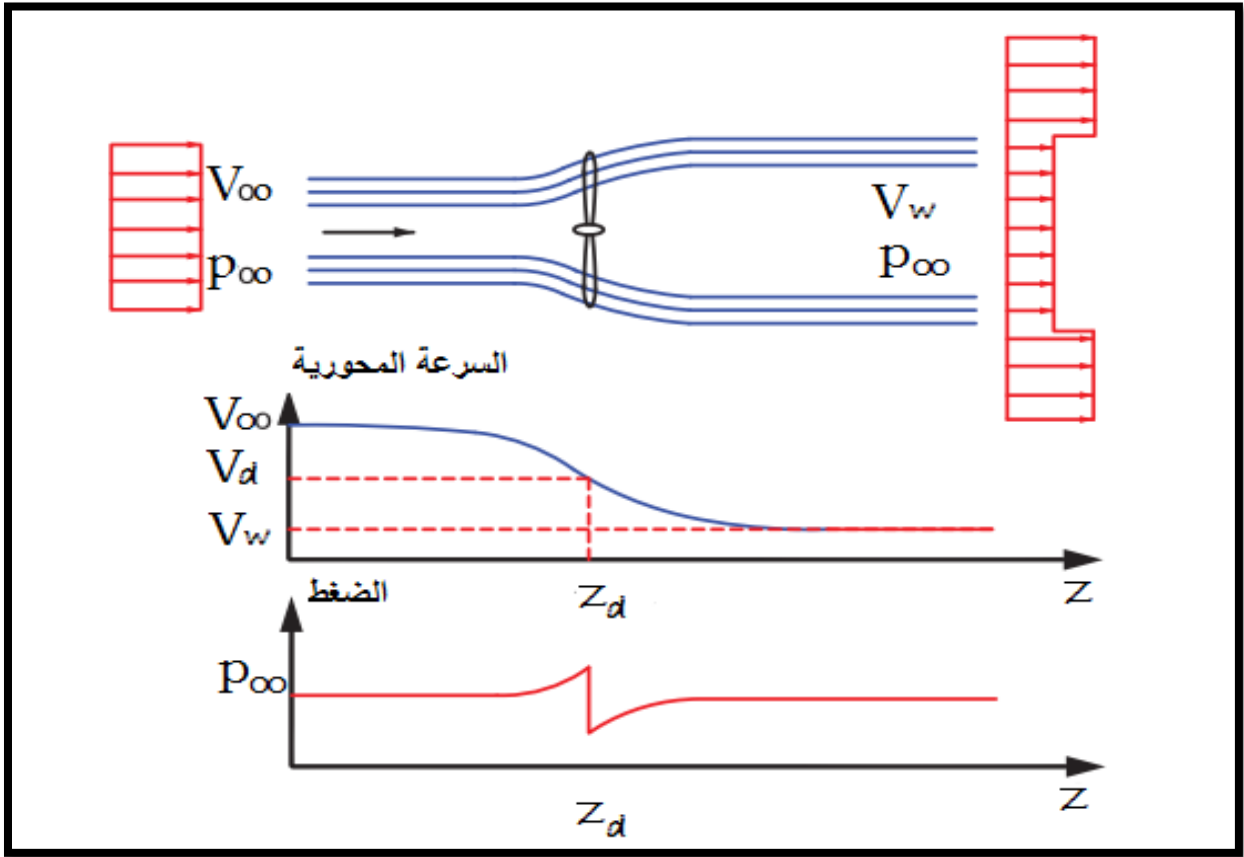
الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة



1.1.1) الفرضيات المعتمدة:

- الجريان دائم.
- الجريان غير قابل للانضغاط ($M < 0.3$).
- الجريان مثالي (شرط انزلاق).
- الجريان ذو تناظر محوري .
- جريان أحادي البعد في الاتجاه المحوري.
- سمك القرص صغيرا جدا و نفاذيته لا نهائية.
- السرعة و الضغط منتظمي التوزيع عبر سطح العبور.
- لا وجود للحركة الدورانية في منطقة الأثر الذيلي .
- الضغط الساكن في المنطقتين القبلية (∞) و البعدية (W) يساوي الضغط الجوي P_{atm} .
- الدوار عبارة عن قرص فعال له عدد لا متناه من الأجنحة.
- السرعة تتغير بصفة مستمرة عبر الدوار أما الضغط فيحدث له تغيرا فجائيا.
- قرص له سمك مهمل $A_{d^-} = A_{d^+} = A_d$
- السرعة المحورية عبر الدوار ثابتة $V_{d^-} = V_{d^+} = V_d$
- مائع غير ثقالي (fluide non fessant).
- الضغط عند المدخل و المخرج يساوي الضغط الجوي $p_{\infty} = p_w = p_{atm}$

السرعة تتغير بصفة مستمرة عبر الدوار حيث تكون عند المدخل أنبوب التيار V_{∞} لتتناقص إلى V_d عند الدوار ثم إلى V_w عند مخرج الأنبوب مما يؤدي حتما إلى تباعد خطوط التيار. أما بالنسبة لضغط يلاحظ ارتفاعه من الضغط الجوي p_{∞} إلى p_{d^-} قبل الدوار، و سقوطه عبر العنفة من القيمة p_{d^-} إلى القيمة p_{d^+} ، و بعد ذلك يرتفع باستمرار لمستوى الضغط الجوي p_{∞} .



{الشكل 2.1} سلوك الضغط و السرعة المحورية

فيما يخص تغيرات الضغط داخل أنبوب التيار. نستعمل معادلة برنولي على خطي التيار (d^+, w) و (∞, d^-) .

✓ على خط التيار الأفقي (∞, d^-) :

$$p_{\infty} + \frac{1}{2} \rho V_{\infty}^2 = p_{d^-} + \frac{1}{2} \rho V_{d^-}^2 \quad (1)$$

✓ على خط التيار الأفقي (d^+, w) :

$$p_{d^+} + \frac{1}{2} \rho V_{d^+}^2 = p_w + \frac{1}{2} \rho V_w^2 \quad (2)$$

✓ بجمع المعادلتين نتحصل على:

$$\Delta p = p_{d^-} - p_{d^+} = \frac{1}{2} \rho (V_{\infty}^2 - V_w^2) \quad (3)$$

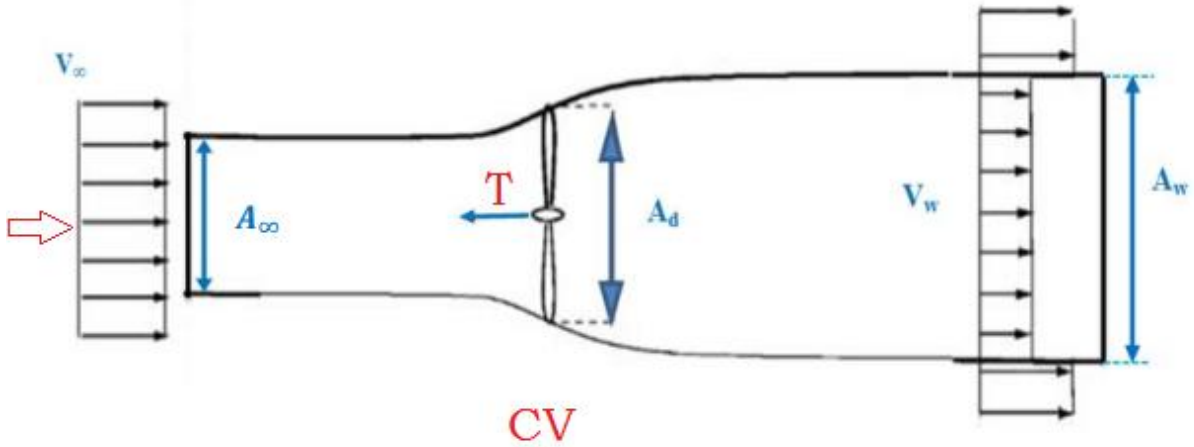
2.1.1 صياغة المعادلات التكاملية المتكيفة في الجريان داخل حجم المراقبة :

نهدف في هذا الجزء بالتذكير بمعدلات الانحفاظ (Eq de conservation) وفق الصيغة التكاملية و ذلك بالانطلاق من نظرية النقل لرينولدز المتعلقة بحركة الموائع والمتمثلة في المعادلة التالية:

$$\frac{dB_{sys}}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{vc} b \rho d\forall + \iint_{sc} b \rho \vec{V} d\vec{A} \quad (4)$$

1. معادلة الاستمرارية و مبدأ انحفاظ الكتلة
2. معادلة كمية الحركة و القانون الثاني لنيوتن
3. معادلة الطاقة و القانون الأول للديناميكا الحرارية
4. معادلة عزم كمية الحركة و قانون انحفاظ كمية الحركة الزاوية

تتم الدراسة على حجم المراقبة الممثل في الشكل أدناه:



{الشكل 3.1} حجم مراقبة

1.2.1.1 معادلة الاستمرارية و مبدأ انحفاظ الكتلة:

و هي تعبر عن انحفاظ الكتلة أي أن كمية المادة داخل حجم المراقبة تساوي مجموع التدفقات الكتلية التي تخرق حدود هذا الحجم .

حيث أن :

$$B_{sys} = M_{sys} \Rightarrow b = \frac{B_{sys}}{M_{sys}} \Rightarrow b = 1$$

الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة

بما أن الجريان دائم الجريان دائم $\frac{\partial}{\partial t} \iiint_{vc} \rho b dV = 0$ و الكتلة محفوظة $\frac{dB_{sys}}{dt} = 0$ فان المعادلة (4) تصبح على الشكل التالي:

$$\iint_{sc} \rho b \vec{V} d\vec{A} = 0 \quad (5)$$

المائع لا يخترق السطح الجانبي لأنبوب التيار $SC = A_\infty + A_w$ و منه فان المعادلة (5) تكتب كأتي

$$\int_{A_\infty} \rho \vec{V} d\vec{A} + \int_{A_w} \rho \vec{V} d\vec{A} = 0 \quad (6)$$

السرعة و الكتلة الحجمية منتزمتي التوزيع على سطح المراقبة عند مدخل و مخرج أنبوب التيار، و شعاع السرعة موازي لشعاع سطحي الدخول و الخروج و منه تصبح المعادلة (6) كأتي :

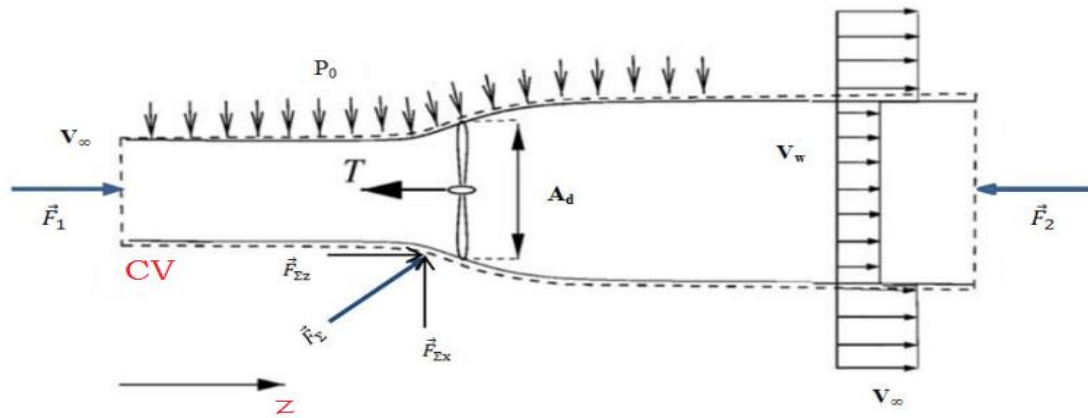
$$\rho_\infty A_\infty V_\infty = \rho_w A_w V_w \quad (7)$$

الجريان غير قابل لانضغاط $\rho_\infty = \rho_w = \rho$ و منه تصبح معادلة انحفاظ الكتلة على الشكل النهائي:

$$A_\infty V_\infty = A_w V_w \quad (8)$$

2.2.1.1 معادلة كمية الحركة و القانون الثاني لنيوتن :

ينص هذا الأخير على أن مجموع القوى الخارجية يساوي مجموع تراكم كمية الحركة داخل حجم المراقبة مضافا إليه مجموع التدفقات كمية الحركة التي تخترق سطح المراقبة .



{الشكل 4.1} تمثيل القوى مطبقة على حجم المراقبة

حيث:

- \vec{F}_1 : تمثل قوى الضغط المطبقة على سطح مدخل أنبوب التيار و هي مع الاتجاه المحور (oz).
- \vec{F}_2 : تمثل قوى الضغط المطبقة على سطح مخرج أنبوب التيار و هي عكس الاتجاه المحور (oz).
- \vec{F}_Σ : تمثل محصلة قوى الضغط المطبقة على السطح الجانبي لأنبوب التيار و تتكون من مركبتين $F_{\Sigma Z}$ في اتجاه المحوري (oz) و مركبة أخرى $F_{\Sigma X}$ على المحور (ox).
- \vec{T} : قوة رد الفعل الدوار في الاتجاه المحوري .

انطلاقاً من المعادلة (4) لدينا :

$$B_{sys} = (M\vec{V})_{sys} \Rightarrow b = \frac{(M\vec{V})_{sys}}{M_{sys}} \Rightarrow b = \vec{V} \quad , \quad \frac{dB_{sys}}{dt} = \sum \vec{F}_{ext}$$

و منه فان معادلة النقل لرينولدز (4) تصبح من الشكل :

$$\sum \vec{F}_{ext} = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{vc} \vec{V} \rho dV + \iint_{sc} \vec{V} \rho \vec{V} d\vec{A} \quad (9)$$

مجموع القوى الخارجية \vec{F}_{ext} المطبقة على حجم المراقبة يساوي مجموع قوى حجميه \vec{F}_v ، وقوى سطحية \vec{F}_s بدورها تنقسم إلى قوى سطحية مماسية و التي تتمثل في قوى اللزوجة \vec{F}_{vis} و قوى سطحية ناظرية التي تتمثل في قوى الضغط \vec{F}_p ، و قوة رد فعل العنفة \vec{T} .

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{F}_v + \vec{F}_s + \vec{T} \quad (10)$$

قوى الحجمية \vec{F}_v مهملة لان السائل غير ثقالي وقوى سطحية تساوي $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_\Sigma$ و منه نكتب:

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_\Sigma + \vec{T} \quad (11)$$

حيث يمكن كتابة المعادلة من الشكل التالي:

$$\sum F_{ext/z} = p_\infty A_\infty - p_\infty A_w + p_\infty (A_w - A_\infty) - T \quad (12)$$

الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة

بعد التبسيط المعادلة (12) تصبح هذه الأخيرة من الشكل $\sum F_{ext/z} = -T$ ، و بما ان الجريان دائم $\frac{\partial}{\partial t} \iiint_{vc} \vec{V} \rho dV = 0$ ، يبقى التكامل إلا على سطح المراقبة $\iint_{sc} \vec{V} \rho \vec{dA}$ لتصبح العلاقة (9) على الشكل التالي:

$$-T = -\rho_{\infty} V_{\infty}^2 A_{\infty} + \rho_w V_w^2 A_w \quad (13)$$

لدينا $\dot{m} = \rho_{\infty} A_{\infty} V_{\infty} = \rho_w A_w V_w$ بالتعويض في العلاقة (13) نجد:

$$T = \dot{m}(V_{\infty} - V_w) \quad (14)$$

قوة رد الفعل تنشأ من السقوط في الضغط عبر الدوار و عليه يمكن التعبير عن هذه القوة بالعلاقة التالية:

$$T = \Delta p A_d = (p_{d-} - p_{d+}) A_d \quad (15)$$

بالتعويض العلاقة (3) في العلاقة (15) نجد:

$$T = \frac{1}{2} A_d \rho (V_{\infty}^2 - V_w^2) \quad (16)$$

لدينا $\dot{m} = \rho A_d V_d$ و انطلاقا من العلاقتين (16) و (14) نستنتج أن:

$$V_d = \frac{V_{\infty} + V_w}{2} \quad (17)$$

نعرف الآن ما يسمى بمعامل التحريض المحوري أو التداخل المحوري و الذي يمثل مقدار تباطؤ الجريان وفق الاتجاه المحوري:

$$a = \frac{V_{\infty} + V_d}{V_{\infty}} = 1 - \frac{V_d}{V_{\infty}} \quad (18)$$

انطلاقا من العلاقتين (17) و (18) نتحصل على :

✓ سرعة الهواء عند القرص بدلالة a :

$$V_d = V_{\infty}(1 - a) \quad (19)$$

الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة

✓ سرعة الهواء في المنطقة البعيدة للأثر الذيلي بدلالة a :

$$V_w = V_\infty(1 - 2a) \quad (20)$$

نلاحظ انه لابد للمعامل a أن يكون محصور بين $0 < a < 0.5$ حتي لا يكون هناك جريان عكسي

3.2.1.1 معادلة الطاقة و القانون الأول للديناميكا الحرارية :

الهدف من هذه المعادلة ايجاد عبارة الاستطاعة حيث الدراسة على حجم المراقبة الموضح في الشكل السابق ، لدينا:

$$B_{sys} = E_{sys} \Rightarrow b = \frac{E_{sys}}{M_{sys}} \Rightarrow b = e \quad , \quad E_{sys} = Q - W \Rightarrow \frac{dB_{sys}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}$$

و منه تكتب معادلة النقل لرينولدز (4) على الشكل :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{vc} e \rho dV + \iint_{sc} e \rho \vec{V} d\vec{A} \quad (21)$$

\dot{W} : يمثل الاستطاعة الناتجة عن عمل القوى الحجمية \dot{W}_b ، السطحية النازمية \dot{W}_p ، السطحية المماسية \dot{W}_{vis} .

\dot{Q} : استطاعة حرارية ناتجة عن التبادل الحراري بين الجملة و الوسط الخارجي .

الجريان دائم $\frac{\partial}{\partial t} \iiint_{vc} e \rho dV = 0$ و الجملة معزولة $\dot{Q} = 0$ أي لا يوجد تبادل حراري بين الوسط الخارجي و النظام (حجم المراقبة) تصبح المعادلة (21) على الشكل التالي:

$$-\dot{W} = \iint_{sc} e \rho \vec{V} d\vec{A} \quad (21)$$

لدينا :

$$e = u + \frac{1}{2}v^2 + gz \quad , \quad \dot{W} = \dot{W}_s + \dot{W}_p \quad (22)$$

u : الطاقة الداخلية (وتكون معدومة لان درجة الحرارة ثابتة)

$\frac{1}{2}v^2$: الطاقة الحركية

gz : الطاقة الثقالية (و هي أيضا معدومة و ذلك بفرض مركز الدوار هو مرجع الدراسة)

الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة

\dot{W}_s : يمثل محور العنفة و نرسم له أيضا ب : p

\dot{W}_p : يمثل الاستطاعة المستخرجة من المائع و تعطى بالعلاقة $\dot{W}_p = \iint_{sc} p \vec{V} d\vec{A}$ بعد إجراء

$$\dot{W}_p = -p_\infty A_\infty V_\infty + p_w A_w V_w = 0$$

من المعادلات السابقة و بعد التبسيط يمكن كتابة المعادلة (22) من الشكل التالي :

$$-\dot{W}_s = \iint_{sc} \frac{1}{2} v^2 \rho \vec{V} d\vec{A} \quad (23)$$

بما أن السرعة و الكتلة الحجمية منتظمتي التوزيع على سطحي المراقبة $-\dot{W}_s = -\frac{1}{2} \rho V_\infty^3 A_\infty + \frac{1}{2} \rho V_w^3 A_w$ و $\dot{W}_s = p$ فان عبارة الاستطاعة تصبح كما يلي :

$$p = \frac{1}{2} \dot{m} (V_\infty^2 - V_w^2) \quad , \quad p = T \cdot V_d \quad (23)$$

كتابة كل من الاستطاعة و رد فعل الدوار بدلالة معامل التحريض المحوري كالتالي:

$$p = 2\rho A_d V_\infty^3 a(1-a)^2 \quad , \quad T = 2\rho A_d V_\infty^3 a(1-a) \quad (24)$$

نعرف معامل الاستطاعة على انه النسبة بين استطاعة الدوار p و الاستطاعة الأعظمية p_{max} (و هي الاستطاعة الكلية للهواء قبل الدخول للدوار) يكتب هذا المعامل من الشكل:

$$C_p = \frac{p}{\frac{1}{2} \rho A_d V_\infty^3} \quad \Rightarrow \quad C_p = 4a(1-a)^2 \quad (25)$$

كما يمكن تعريف معامل البعد يتعلق بقوى الدفع يكتب:

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho A_d V_\infty^2} \quad \Rightarrow \quad C_T = 4a(1-a) \quad (26)$$

الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة

إيجاد القيمة المثلى (valeur optimale) للاستطاعة يمكن وضع :

$$\frac{dC_p}{da} = 4(1-a)(1-3a) = 0 \Rightarrow a = 1, a = \frac{1}{3}$$

القيمة المعتمدة للمعامل a والتي تجعل الاستطاعة أعظمية هي القيمة $a = \frac{1}{3}$ ($a = 0$ تجعل $p = 0$)

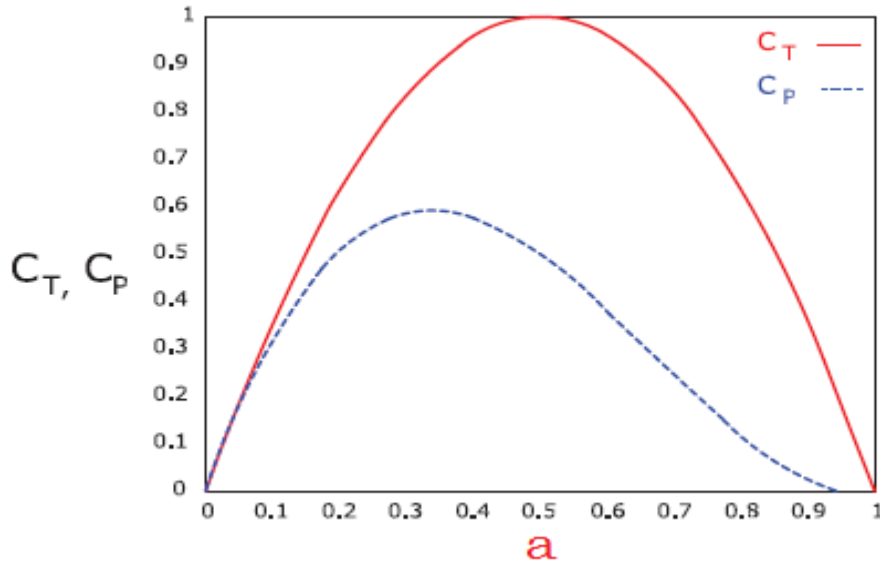
$$C_{p_{max}} = C_p\left(a = \frac{1}{3}\right) \Rightarrow C_{p_{max}} = \frac{16}{27} \approx 0.59, 59\%$$

تمثل هذه القيمة معامل الاستطاعة الأقصى لعنفة مثالية ، و بسبب فرضيات المسألة لا يمكن الوصول لها عمليا .

نفس الشيء بالنسبة لقوة الدفع T :

$$\frac{dC_T}{da} = 0 \Rightarrow a = 1, a = \frac{1}{2}$$

نلاحظ انه من اجل $a \geq \frac{1}{2}$ ينتج جريان عكسي بعد العجلة الدوارة و الذي يتناقض مع فرضية بيتز أي إن المجال $[0.5, 1]$ يوافق عدم صلاحية نظرية القرص الفاعل لبيتز.



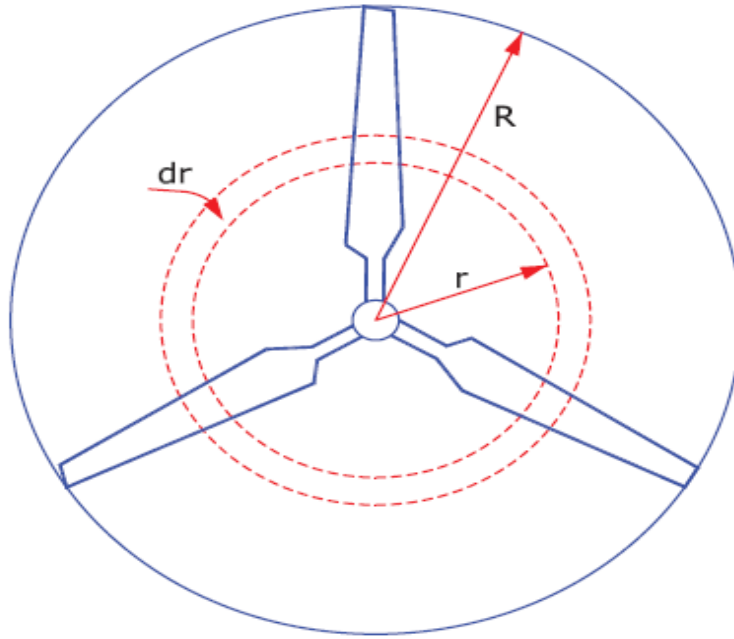
{الشكل 2} تغير كل من C_T و C_p بدلالة المعامل a

4.2.1.1 معادلة عزم كمية الحركة و قانون انحفاظ كمية الحركة الزاوية :

تنص هذه المعادلة على أن مجموع عزوم القوى الخارجية المؤثرة على حجم المراقبة يساوي تراكم كمية عزم الحركة داخل حجم المراقبة مضافا إليه مجموع تدفقات عزم كمية الحركة .

$$B_{sys} = (\vec{r} \wedge M\vec{V})_{sys} \Rightarrow b = \frac{(\vec{r} \wedge M\vec{V})_{sys}}{M_{sys}} \Rightarrow b = \vec{r} \wedge \vec{V} \quad , \quad \frac{dB_{sys}}{dt} = \sum \vec{M}$$

ملاحظة: حجم المراقبة عبارة على أنبوب حلقي سمكه dr و نصف قطره r كما هو موضح في الشكل:



{ الشكل 3 } دوار العنفة الموانية ثلاثي الأجنحة مع نصف قطر دوار R

$$\sum \vec{M} = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{vc} \vec{r} \wedge \vec{V} \rho dV + \iint_{sc} \vec{r} \wedge \vec{V} \rho \vec{V} d\vec{A} \quad (27)$$

بما أن الجريان دائم و المعادلة الأخيرة تمثل مجموع عزوم القوى المؤثرة على سطح المراقبة أي :

$$\sum \vec{M} = \iint_{sc} \vec{r} \wedge \vec{V} \rho \vec{V} d\vec{A} \quad (28)$$

الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة

$$\vec{r} = \begin{bmatrix} r \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad d\vec{A} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2\pi r dr \end{bmatrix}, \quad \vec{V} = \begin{bmatrix} V_r \\ V_\theta \\ V_z \end{bmatrix} \Rightarrow \vec{r} \wedge \vec{V} = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} \vec{e}_r & r\vec{e}_\theta & \vec{e}_z \\ r & 0 & 0 \\ V_r & rV_\theta & V_z \end{bmatrix}$$

بما أن $\vec{r} \wedge \vec{V} = -(rV_r)\vec{e}_\theta + (rV_\theta)\vec{e}_z$ و $\vec{V} d\vec{A} = V_z 2\pi r dr$ بالتعويض في العلاقة (27) تكتب العلاقة التالية من الشكل :

$$d\mathcal{M} = \rho r V_\theta V_z 2\pi r dr \vec{e}_z \Big|_{A_w} + \rho r V_\theta V_z 2\pi r dr \vec{e}_z \Big|_{A_w} \quad (29)$$

بما أن الجريان عند المدخل ليس له سرعة دورانية و بعد الإسقاط على (oz) نجد :

$$d\mathcal{M} = \rho r V_\theta V_z 2\pi r dr \quad , \quad V_\theta = w_d r \quad (30)$$

V_θ : تمثل السرعة المماسية

w_d : تمثل السرعة الزاوية للهواء على مستوى الدوار و تساوي متوسط السرعتين قبل و بعد الدوار أي حسب فرضيات المسألة الجريان قبل الدوار لا يخضع للحركة الدورانية و عليه $w_d = \frac{w_{d^-} + w_{d^+}}{2}$ ، لتصبح عبارة السرعة الزاوية للهواء على مستوى الدوار كما يلي :

$$w_{d^-} = \frac{w_{d^+}}{2} \quad (31)$$

و هنا نعرف معامل التحريض لسرعة الزاوية بأنه النسبة بين Ω السرعة الزاوية للدوار و w_d السرعة الزاوية للهواء عبر الدوار حيث:

$$\acute{a} = \frac{w_d}{\Omega} \quad (32)$$

بتعويض مع المعدلات السابقة نجد أن :

$$V_\theta = 2r\Omega\acute{a} \quad (33)$$

مما سبق لدينا $V_z = V_d = V_\infty(1 - a)$ و بتعويض العلاقة (32) و (33) في (30) نتحصل على العلاقة التالية:

$$d\mathcal{M} = 4\rho r^3 V_\infty (1 - a) \Omega \acute{a} \pi dr \quad (34)$$

الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة

و تمثل هذه العبارة العزم العنصري على طول الجناح بدلالة معاملي التحريض المحوري و الزاوي.

2.1) نظرية عنصر الجناح :

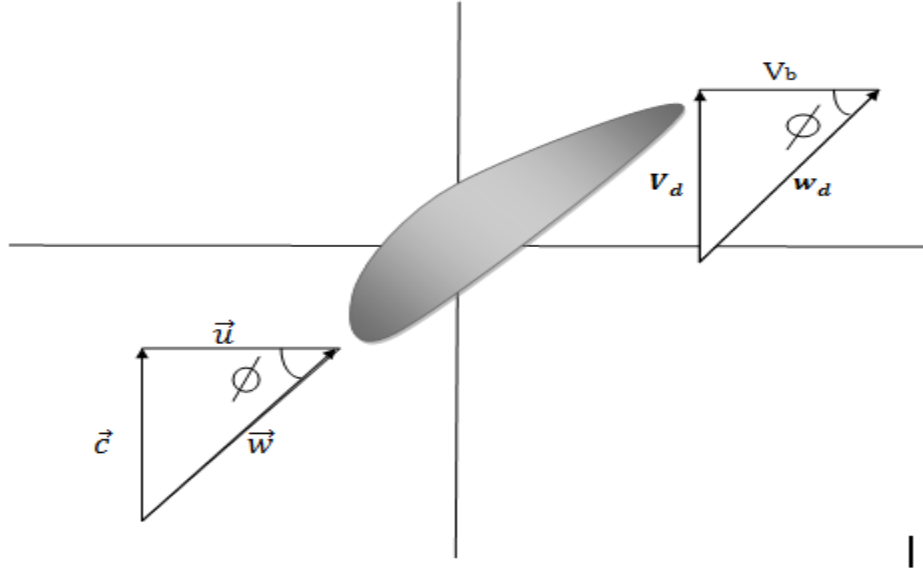
يعتبر فرود (Froude) أول من وضع نظرية عنصر الجناح لحساب الحمولة الأيروديناميكية المسلطة على الدوار فهذه نظرية تمكننا من حساب القوى الأيروديناميكية المؤثرة على الجناح و ذلك انطلاقا من :

- ✓ هندسة الجناح (طول الوتر و زاوية توجيه المقاطع الأيروديناميكية على طول الجناح)
- ✓ الكفاءة الأيروديناميكية للمقاطع ثنائية البعد عند مختلف المحطات القطرية ($C_L C_D$)
- ✓ سرعة الجريان عند الدوار.

عموما تستعمل هذه النظرية مقرونة نظرية كمية الحركة التي تناولنها سابقا.

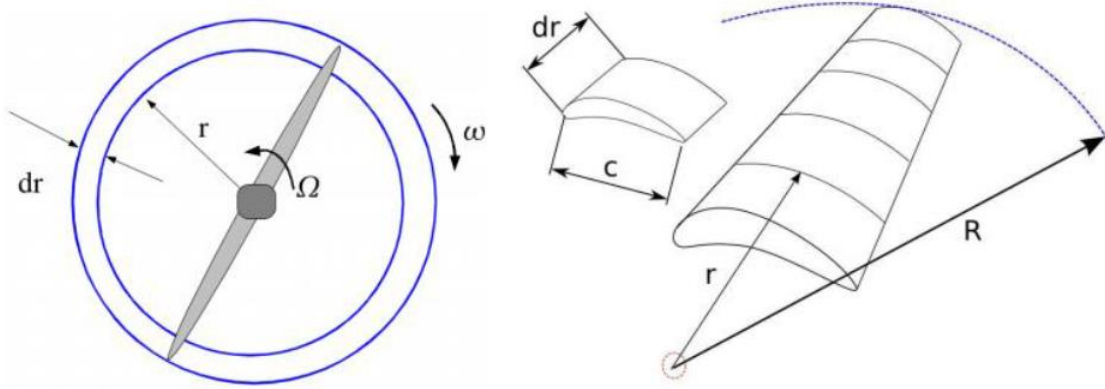
1.2.1) تحليل عنصر الجناح :

يتمثل عنصر الجناح في قطعة أو جزء من الجناح يقع عند المحطة القطرية r ، و يتميز بسمك dr و الوتر $c(r)$ ، تتم الدراسة في معلم النسبي المرتبط بعنصر الجناح حيث نرمز لسرعة النسبية ب \vec{w} (أو \vec{w}_a) و التي بدورها تعبر عن السرعة المطلقة \vec{c} (أو \vec{V}_a) و المركبة الموازية للدوار و تعبر عن سرعة الجر أو سرعة دوران العجلة \vec{u} (أو \vec{V}_b).



{ الشكل 1.4 } عنصر الجناح و مركباته السرعات

الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة

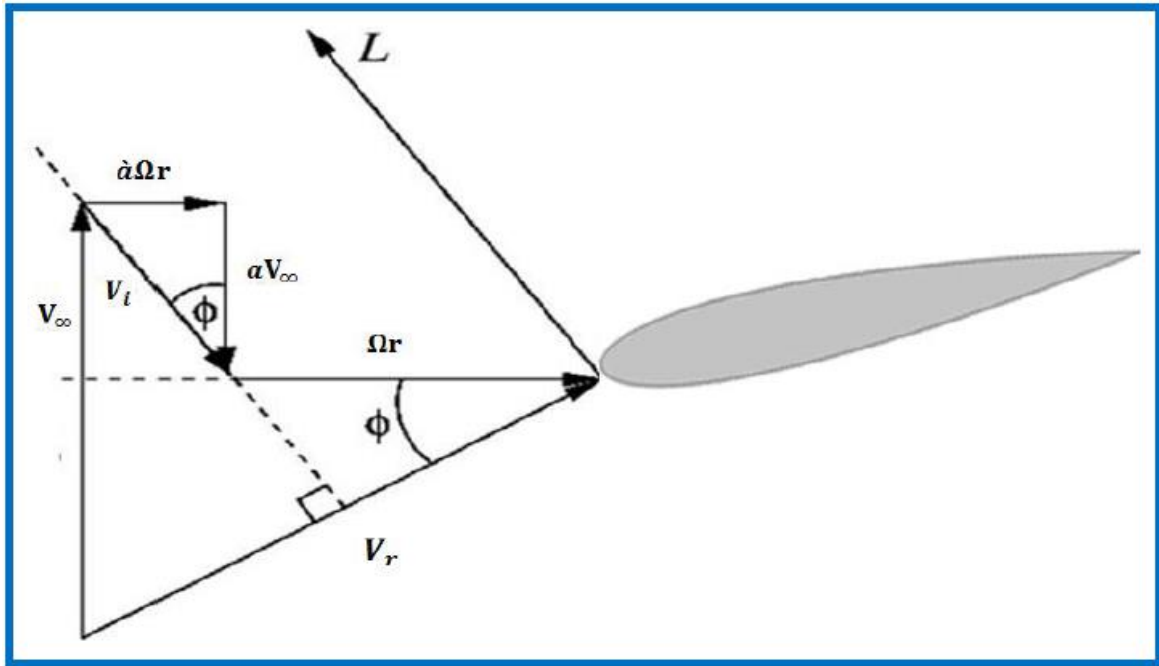


{الشكل 2.4} تقسيم الجناح إلى قطع مع إبراز حلقة وهمية تكونها هذه القطعة عند دوران الجناح

على اليمين تقسيم الجناح إلى قطع و على اليسار الحلقة الوهمية التي تكونها القطعة عند دورانه عند اختراق الهواء لعجلة الدوارة تتولد حركة دورانية تحريضية للهواء V_i معاكسة لقوة الرفع لها سرعة في الاتجاهين الزاوي $V_{i\theta} = rw_d$ والمحوري $V_{\theta d} = \Omega r$ ، لتصبح السرعة الكلية للهواء من الشكل التالي :

$$V_{\theta} = \Omega r + rw_d \quad (35)$$

الشكل الموالي يبين مثلثات السرعة بعد إدراج السرعة التحريضية للهواء :



{الشكل 3.4} إدراج مركبات السرعة التحريضية ضمن مثلثات السرعات

الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة

حيث: V_r تمثل السرعة النسبية للهواء و هي محصلة السرعة المحورية و السرعة المماسية.
من العلاقتين (32) و (35) نجد:

$$V_\theta = \Omega r + r\dot{\alpha}\Omega = \Omega r(1 + \dot{\alpha}) \quad (35)$$

لدينا العلاقات المثلثية التالية :

$$\sin \phi = \frac{V_\infty(1 - a)}{V_{rel}} \quad \text{و} \quad \cos \phi = \frac{\Omega r(1 + \dot{\alpha})}{V_{rel}} \quad \text{و} \quad \tan \phi = \frac{V_\infty(1 - a)}{\Omega r(1 + \dot{\alpha})}$$

كما يمكننا أن نستنتج هندسيا من مثلث السرعات في الشكل السابق العلاقات التالية :

$$V_{rel} = \frac{V_\infty(1 - a)}{\sin \phi} = \frac{\Omega r(1 + \dot{\alpha})}{\cos \phi} \quad (36)$$

$$V_{rel}^2 = [V_\infty(1 - a)]^2 + [\Omega r(1 + \dot{\alpha})]^2 \quad (37)$$

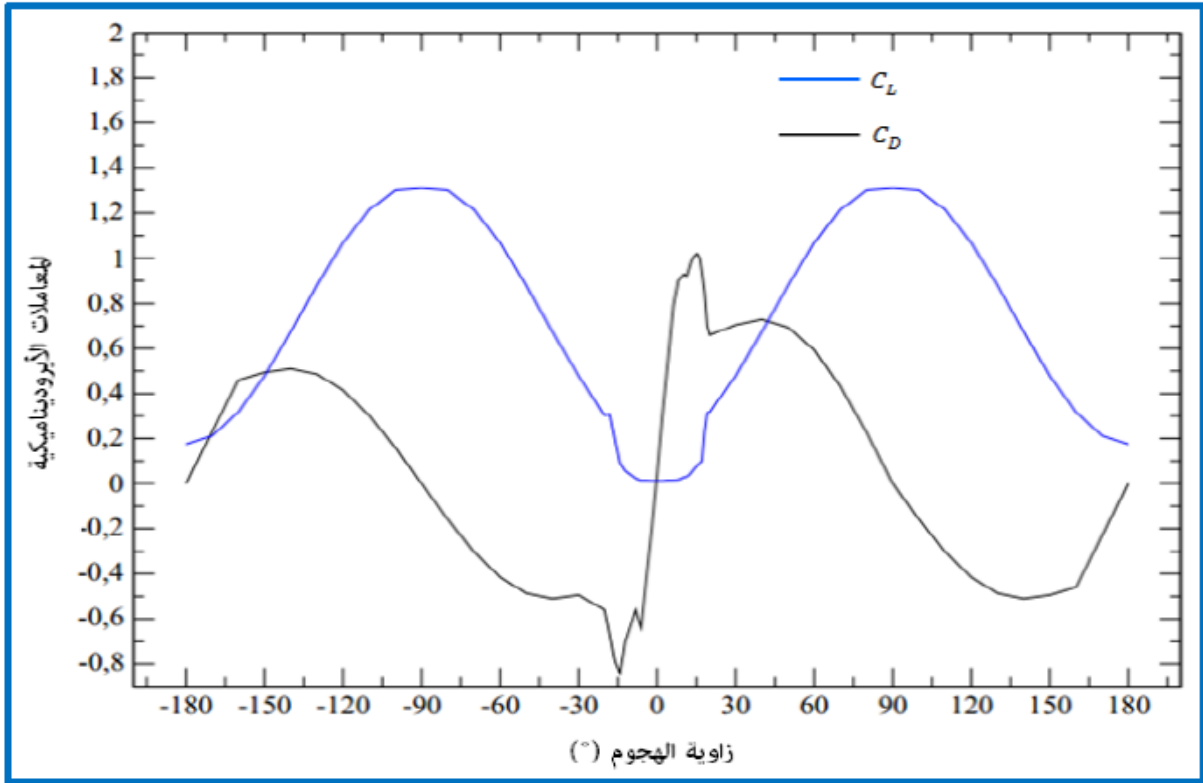
حيث V_{rel} تمثل السرعة النسبية للهواء و هي محصلة السرعة المحورية زائد السرعة المماسية .

2.2.1 حساب القوى المؤثرة على كل عنصر من الجناح :

هناك قوتان مؤثرتان على المقاطع الأيروديناميكية هما قوة الرفع و الإعاقة حيث تعمل قوة الرفع على تحريك المقطع نحو الأعلى و ذلك نتيجة فرق الضغط بين ظهر و بطن الجناح أما بنسبة لقوة الإعاقة تدفع الجناح نحو الخلف كما تعمل على إنقاص سرعته .

فيما يخص معاملي الرفع C_L و الإعاقة C_D ، يفترض أنهما معلومان عند أي مقطع من مقاطع الموجودة على الجناح ، هذان المعاملان يتعلقان بالشكل الأيروديناميكي للجناح المدروس و بالضبط زاوية الهجوم كما هو موضح في شكل أدناه:

الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة



{الشكل 5} بيان كل من C_D و C_L بدلالة زاوية الهجوم α لمقطع $S809$

يمكننا كتابة علاقة قوة الإعاقة لكل عنصر من الجناح كالتالي :

$$d\vec{L} = \frac{1}{2} \rho C_l V_r^2 N_B C dr \quad (38)$$

$$d\vec{D} = \frac{1}{2} \rho C_d V_r^2 N_B C dr \quad (39)$$

حيث N_B عدد أجنحة الدوار

بعد إسقاط المركبتين F_z و F_e على الاتجاه المحوري و المماسي نجد :

$$dF_z = dL \cos \phi + dD \sin \phi \quad (40)$$

$$dF_e = dL \sin \phi - dD \cos \phi \quad (41)$$

الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة

بالتعويض العلاقة dL و dD في العلاقتين (41) و (42) نجد:

$$dF_z = \frac{1}{2} \rho V_r^2 N_B C_d r (C_l \cos \phi + C_d \sin \phi) \quad (42)$$

$$dF_e = \frac{1}{2} \rho V_r^2 N_B C_d r (C_l \sin \phi + C_d \cos \phi) \quad (43)$$

العزم المطبق على عنصر الجناح من الجناح dM ببساطة هو القوة المماسية مضروبة في نصف القطر r :

$$dM = r dF_e = \frac{1}{2} \rho V_r^2 N_B C_d r (C_l \sin \phi - C_d \cos \phi) \quad (44)$$

بإدراج معامل الصلابة الموضعية $\sigma = \frac{N_B C}{2\pi r}$ في العلاقتين (42) و (44) نجد:

$$dF_z = \sigma \pi \rho V_r^2 r dr (C_l \cos \phi + C_d \sin \phi) \quad (45)$$

$$dM = \sigma \pi \rho V_r^2 N_B r^2 dr (C_l \sin \phi - C_d \cos \phi) \quad (46)$$

في كل من النظريتين السابقتين (نظرية كمية الحركة و نظرية عنصر الجناح) قمنا بالتعبير عن قوة الدفع و العزم في الاتجاهين الرئيسيين المحوري و المماسي بطريقتين مختلفتين ، و نقوم الآن بإيجاد المساواة من أجل حل المسألة :

بقسمة العلاقة (42) على العلاقة (24) و بإدراج العلاقة (36) في العلاقة المتحصل عليها نجد:

$$\frac{a}{1-a} = \frac{\sigma (C_l \cos \phi + C_d \sin \phi)}{4 \sin^2 \phi} \quad (47)$$

و بنفس الطريقة نقسم العلاقة (44) على العلاقة (34) و ندرج العلاقة (36) في العلاقة المتحصل عليها:

$$\frac{\dot{a}}{1-\dot{a}} = \frac{\sigma (C_l \sin \phi - C_d \cos \phi)}{4 \cos \phi \sin \phi} \quad (48)$$

انطلاقاً من هاتين المعادلتين الأخيرتين يمكن حساب كل من a و \dot{a} .

$$a = \frac{1}{\frac{4 \sin^2 \phi}{\sigma C_n} + 1} \quad (49)$$

$$\dot{a} = \frac{1}{\frac{4 \sin \phi \cos \phi}{\sigma C_t} - 1} \quad (50)$$

3.2.1 حساب الخصائص الأيروديناميكية المثالية للجناح:

لوضع الخصائص المثالية التي تسمح لدوار باستخراج أكبر استطاعة ممكنة من الهواء و المرتبط بأقصى قيمة لمعامل الاستطاعة نعتمد على فرضية عدم وجود احتكاك بعبارة أخرى $C_D = 0$ ، و منه تصبح العلاقتين الأخرتين بعد التبسيط على الشكل التالي:

$$a = \frac{1}{\frac{4 \sin^2 \phi}{\sigma C_L \cos \phi} + 1} \quad (51)$$

$$\dot{a} = \frac{1}{\frac{4 \cos \phi}{\sigma C_L} - 1} \quad (52)$$

مما سبق قمنا باستخراج عبارة الاستطاعة من معادلة النقل لرينولدز يمكننا أيضا استخراجها من العزم المطبق على الجناح وذلك باعتبار السريان حلقي نصف قطره r وسمكه dr من المعادلة تحصلنا على:

$$P = T \cdot V_d = T \cdot r \frac{V_d}{r} \quad (53)$$

وعليه يمكن كتابة عبارة الاستطاعة بدلالة العزم والسرعة الزاوية كالآتي :

$$P = \Omega \int_0^R dM \quad (54)$$

وبتعويض عبارة العزم العنصري (العلاقة 34) في هذا الأخيرة نجد:

$$P = 2\pi\rho V_\infty \Omega^2 \int_0^R (1 - a)\dot{a} r^3 dr \quad (55)$$

الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة

يمكننا أيضا كتابة معامل الاستطاعة كما يلي:

$$C_p = \frac{4\lambda^2}{R^2} \int_0^r (1-a)\dot{a} r^3 dr \quad (56)$$

λ: تمثل السرعة النوعية

نلاحظ إن معامل الاستطاعة متعلق بالمعامل $\dot{a}(1-a)$ فعندما يكون هذا المعامل أعظمي يكون معامل الاستطاعة أعظمي. وهذا ما يحقق رياضيا

$$\frac{d(1-a)\dot{a}}{da} = 0 \quad (57)$$

$$\tan \phi = \frac{V_\infty(1-a)}{\Omega r(1+\dot{a})} \quad , \quad \tan \phi = \frac{\dot{a}\Omega r}{a V_\infty} \quad (58)$$

بالاستعانة بالمعادلتين (56) نتوصل إلى حل المعادلة (55) و هو :

$$\dot{a} = \frac{1-3a}{4a-1} \quad (59)$$

بمساواة هذه المعادلة السابقة للمعدلة (50) :

$$a = \frac{4 \cos \phi}{\sigma C_l + 12 \cos \phi} \quad (60)$$

بمساواة المعادلة السابقة للمعادلة (49) نتوصل إلى $12 \sin^2 \phi - 8 \sigma C_l \cos \phi - \sigma C_l^2 = 0$ هذه المعادلة هي معادلة من الدرجة الثانية مجهولها σC_l تقبل حلين :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma C_l = 4(1 - \cos \phi) \\ \sigma C_l = -4(1 + \cos \phi) \end{array} \right.$$

الحل الثاني مرفوض لأن : $\sigma C_l < 0$

الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة

بتعويض معامل الصلابة بعبارة في الحل الأول نجد عبارة الوتر المثلى على طول الجناح :

$$C(r) = \frac{8\pi r}{N_B C_l} (1 - \cos \phi) \quad (61)$$

$$\beta = \phi - \alpha_{opt} \quad (62)$$

حيث α_{opt} تمثل زاوية الهجوم الموافقة للقيمة الأعظمية لـ $(C_l/C_d)_{max}$ و تستخرج هذه القيمة من منحنى تغيرات معامل الرفع و الإعاقاة بدلالة زاوية الهجوم.

4.2.1 معامل التصحيح لبرانت عند حافة الجناح :

يمكن تقييم الضياعات المتولدة عند أطراف أجنحة العنفة الهوائية و ذلك باستعمال معامل التصحيح f الذي اقترحه العالم برانت و الذي يعمل على تخفيض القوى على طول الجناح و تقريبها للقيم الحقيقية ، حيث يتغير المعامل من 0 إلى 1 و يعطى بالعلاقة التالية :

$$f = \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left\{ \left[-\frac{N_B/2(1-r/R)}{r/R \sin \phi} \right] \right\} \quad (63)$$

بإتباع نفس الخطوات السابقة يمكن إدراج معامل التصحيح f فنتحصل على عبارة معاملي المحوري و المماسي كما يلي :

$$a = \frac{1}{\frac{4f \sin^2 \phi}{\sigma c_n} + 1} \quad (64)$$

$$\dot{a} = \frac{1}{\frac{4f \sin \phi \cos \phi}{\sigma c_t} - 1} \quad (65)$$

5.2.1 الخوارزمية و مخططاتها :

باستعمال العلاقات السابقة يمكننا حساب الخصائص الهندسية و الأيروديناميكية المثالية في كل عنصر من الجناح الذي يتموضع في محطة القطرية r ، نستطيع بعد ذلك حساب القوى و العزوم المطبقة على الجناح و الاستطاعة المستخرجة بواسطة الدوار.

لإجراء الحساب العددي نفترض أن المعطيات التالية معلومة :

✓ نصف قطر الدوار R .

الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة

- ✓ السرعة النوعية λ .
- ✓ عدد الأجنحة N_B .
- ✓ خصائص المقطع $C_L(\alpha)$ و $C_D(\alpha)$.

هذا النموذج يسمح لنا بحساب معاملي التحريض المحوري a و المماسي \dot{a} في كل موضع r و ذلك بإتباع الخطوات التالية :

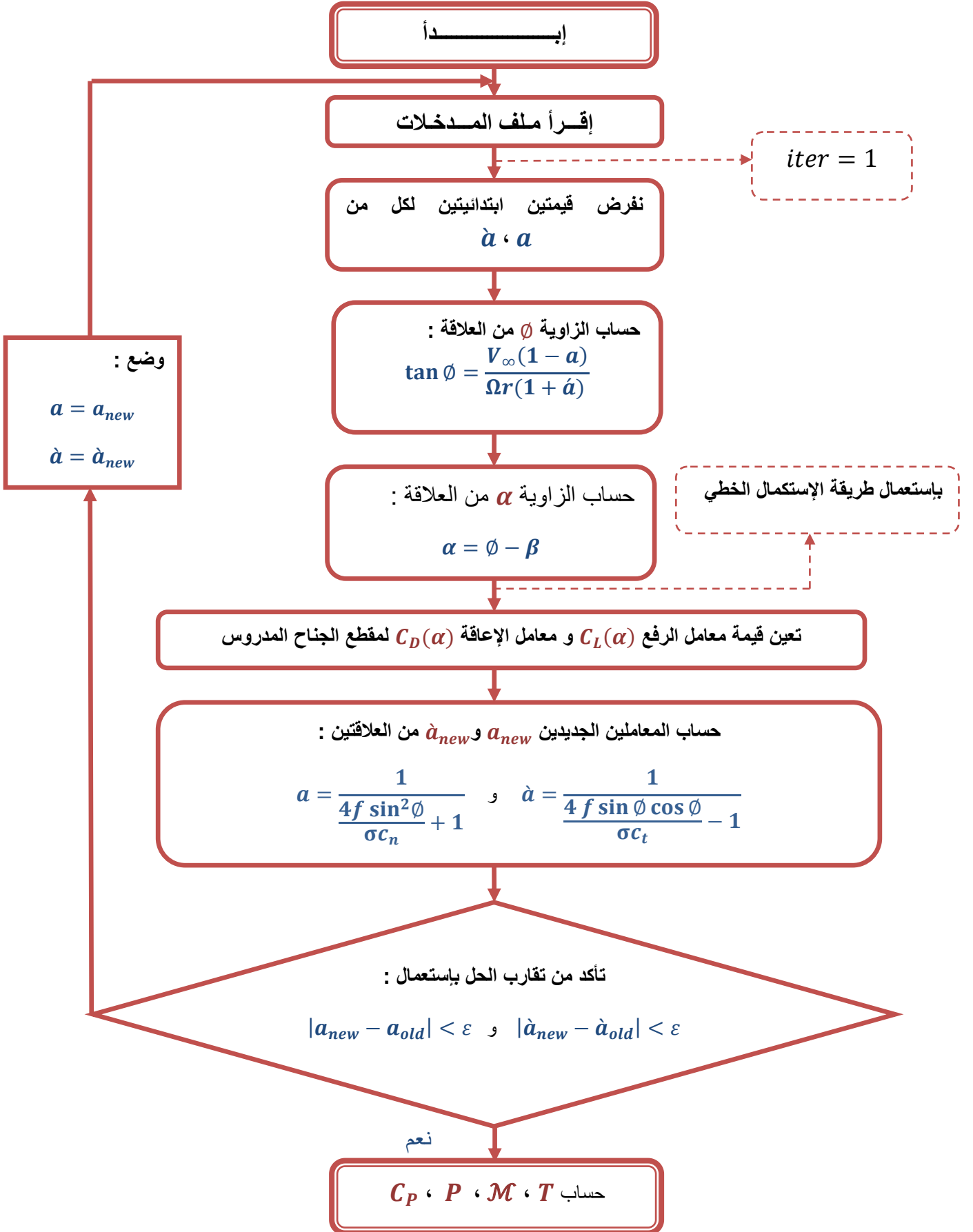
1. تقسيم جناح العنفة في الاتجاه القطري إلى عناصر يتراوح عددها ما بين 20 و 30 .
2. نفرض قيمتين ابتدائيتين لمعامل التحريض المحوري a و معامل التحريض المماسي \dot{a} (حيث يمكن أن نأخذ $a = \frac{1}{3}$ و $\dot{a} = 0$)
3. حساب قيمة السريران النسبي ϕ من العلاقة (56).
4. حساب قيمة زاوية الإقتحام α من العلاقة $\alpha = \phi - \beta$.
5. تعيين قيمة معامل الرفع $C_L(\alpha)$ و معامل الإعاقة $C_D(\alpha)$ المتعلقين بزاوية الإقتحام و ذلك باستعمال طرق الإستكمال العددي من جدول الخصائص الأيروديناميكية لمقطع الجناح المدروس.
6. حساب المعاملين الجديدين a و \dot{a} و ذلك باستعمال العلاقتين (62) و (63).
7. التأكد من تقارب الحل بإستعمال العلاقتين التاليتين :

$$|a_{new} - a_{old}| < \varepsilon \quad \text{و} \quad |\dot{a}_{new} - \dot{a}_{old}| < \varepsilon$$

8. إذا تحقق الشرط السابق فإن الحل تقارب و عليه يتم حساب الخصائص الأيروديناميكية (قوة الدفع T ، العزم \mathcal{M} ، الإستطاعة P ، و معامل الإستطاعة C_P)، و إن لم يتحقق تعاد عملية الحساب و ذلك بأخذ القيم الجديدة لكل من المعاملات (معامل التحريض المحوري و المماسي و أيضا معاملي الرفع و الإعاقة) و تعويضها مكان القيم القديمة.

المنظومة الإنسيابي التالي يلخص الخوارزمية السابقة و يشرح بدقة عملية الحساب المعتمدة في كتابة برنامج:

الفصل الثالث: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة



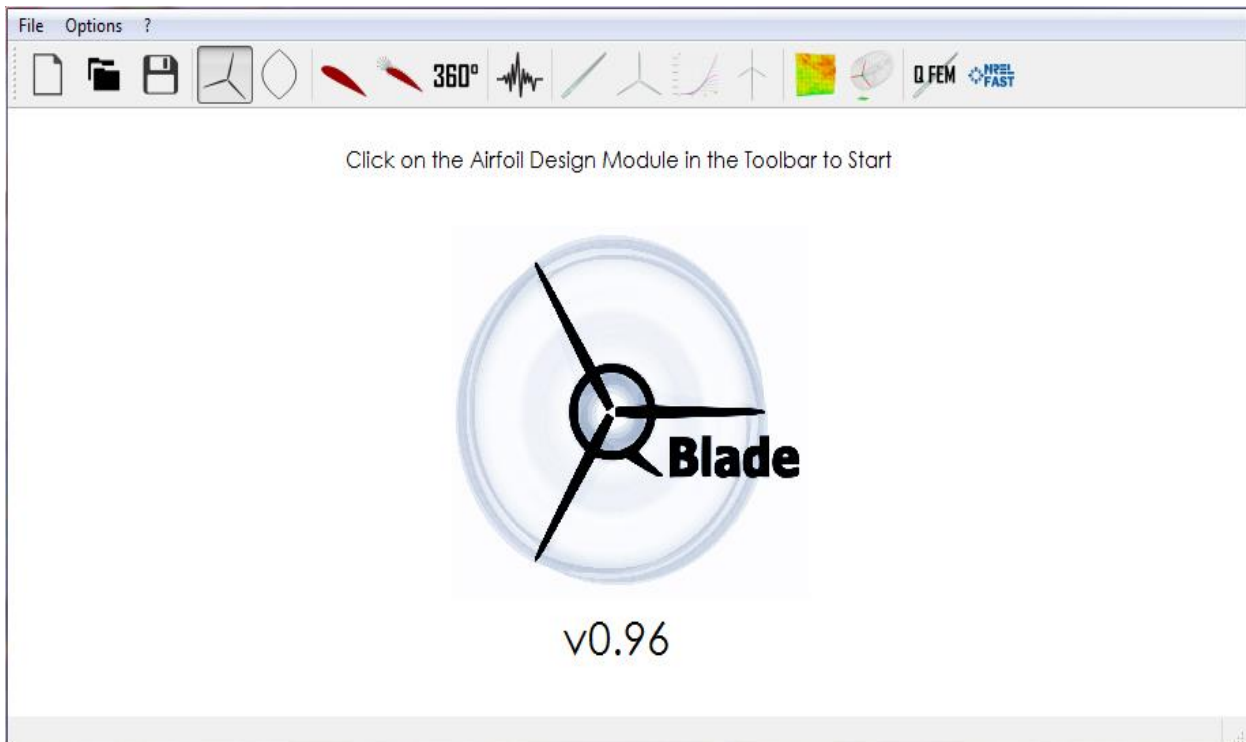
الفصل الرابع

مقدمة:

بسبب التطور السريع في مجال الطاقة ، تزداد الطلبات لتحسين كفاءتها و محاولة مضاعفة الإنتاج و أيضا زيادة في عمر العنفة التي تلعب دورا فعالا في إمتصاص الطاقة من الرياح لتحويلها إلى طاقة كهربائية. يعمل المختصون و العلماء على دراسة قوى الإجهاد التي تعطي عمق كبير لفهم و تحسين هذا الأخير ، و لفهم سلوك العنفات إستوجب الإعتماد على برامج ذات دقة عالية و محاكية للظواهر الحقيقية لذلك نجد من أهم البرامج لفهم سلوك أجنحة العنفة و الدراساتها المعمقة نجد برنامج **Qblade** الذي يحاكي العنفة وهي في ظروف العمل ، يعتمد برنامج **Qblade** في برماجيته على نظرية كمية الحركة و عنصر الجناح **BEM**، كما أنه يحتوي على عدة مقاطع أيروديناميكية من صنف **NACA** ملحوقة بأربعة أرقام أو خمسة أرقام مثل : **Naca 0018.Naca2415.Naca** إلخ، و من كل ما سبق نستخلص أن لبرنامج **Qblade** دقة عالية و موثوق به في تحليل أجنحة العنفات الهوائية.

(1) تعريف برنامج **Qblade**: [10][11][12]

هو برنامج مفتوح المصدر يستخدم لتصميم أجنحة العنفة أفقية المحور (**HAWT**) و عمودية المحور (**VAWT**)، كما يستخدم أيضا في المحاكاة الديناميكية الهوائية، حيث يتميز بسهولة و سلاسة الإستخدام من خلال واجهة رسم سهلة الإستعمال.





{الشكل 1.1} الواجهة الرئيسية لبرنامج Qblade

1.1 هيكل البيانات:

أحد الجوانب المهمة هو فهم كيفية هيكل البيانات داخل Qblade و كيف ترتبط أيقونات البيانات ببعضها البعض، من خلال الشكل الموالي سوف نوضح الوحدات المختلفة و أنواع التحليل التي يمكن إجراؤها :

الأيقونات	الوظيفة	نوع التحليل
 Airfoil Design	تستعمل في تصميم مقطع أيروديناميكي في معلم ذو المركبات x و y .	
 XFOIL Analysis	تستعمل في إيجاد المعاملات الأيروديناميكية للمقطع.	تستعمل طريقة panel ثنائية البعد 2D
 360° Polar Extrapolation	الإستقراء القطبي لحساب المعاملات C_L/C_D ، C_D ، C_L	الإستكمال العددي
 Blade Design	تستعمل في تصميم جناح ثلاثي البعد 3D إنطلاقاً من المقطع الأيروديناميكي.	تعتمد على محاكاة نظرية BEM
 Turbine Design & Simulation	تستعمل في تصميم توربينة (عنفة)	تعتمد على محاكاة نظرية BEM
 Structural Blade Design	تستعمل في دراسة بنية و تركيب الجناح	تعتمد على نموذج Euler التحليلي
 Static Blade Loading	تحميل الجناح في حالة سكون	تعتمد على نظرية BEM الغير مستقرة و ديناميكية الهيكل

 <p>NREL FAST Simulation</p>	<p>محاكاة سريعة لعمل التوربينة</p>	<p>تعتمد على نظرية BEM الغير مستقرة و ديناميكية الهيكل</p>
 <p>Windfield Generator</p>	<p>تحليل بيانات خاصة بسرعة الرياح في منطقة معينة</p>	<p>تعتمد على نظرية وايبل Weibull</p>

{ الجدول 1 } يوضح الوحدات المختلفة و أنواع التحليل التي يمكن إجراؤها

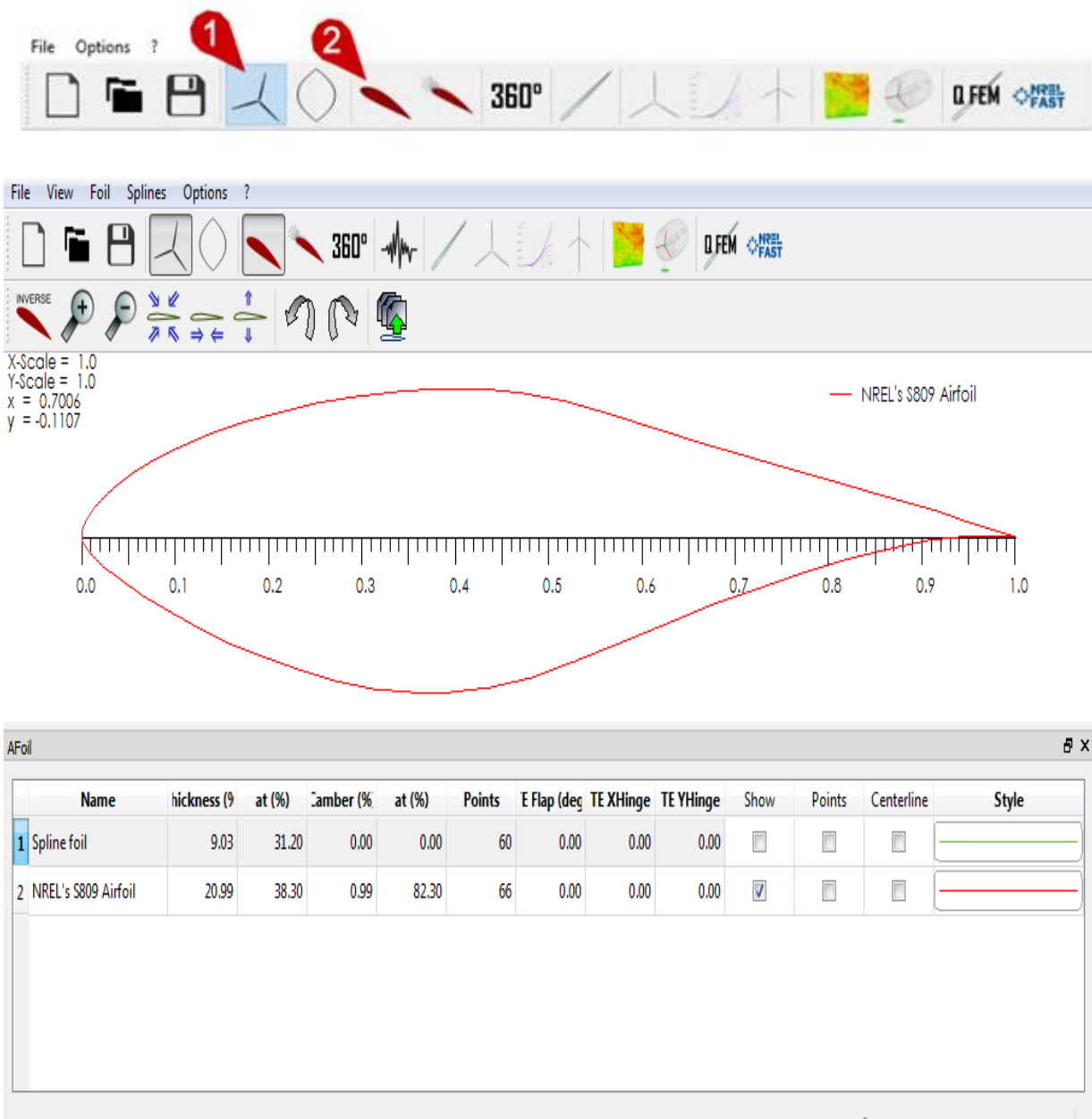
2.1 وظائف Qblade:

يتضمن Qblade عدة وظائف منها :



- ✓ إستقراء XFOIL الناتج أو المستورد من البيانات القطبية بزاوية 360 درجة من زاوية الهجوم.
- ✓ تصميم الأجنحة و تحسينها ، بما في ذلك تصميم ثلاثي الأبعاد ، بإستخدام XFOIL الذي تم إنشاؤه أو إستراده .
- ✓ تعريف العنفات الهوائية و أنماطها (جناح الدوار ، التحكم في العنفة ، نوع المولد).
- ✓ حساب أداء الدوار على نسبة سرعة الطرف.
- ✓ محاكات الدوار لمعاملات متعددة.
- ✓ حساب كفاءة العنفات على مدى سرعة الرياح.
- ✓ حساب عائد الطاقة السنوي على أساس توزيع وايبل لسرعات الرياح.
- ✓ الوصول إلى جميع عوامل المحاكاة للإستخدام المرن.
- ✓ معالجة البيانات و التصوير (الرسومات الديناميكية) .
- ✓ مولد حقل إدخال الجريان المضطرب وفقا لنموذج Veers.
- ✓ التحديد اليدوي لخوارزميات تصحيح عنصر الجنيح.
- ✓ تخزين المشاريع و الدورات و العنفات و المحاكات في قاعدة بيانات التنفيذ.

(2) عرض مجموعة الخيارات المتاحة في واجهة Qblade: [10] [11] [12]

في هذه الجزء سوف يتم تحقيق عملية التحسين لزاوية الوتر و الإلتفاف للجنيح S809 من أجل الحصول على أقصى طاقة خارجة من عنفة الهوائية ، يتم سرد عشرة أقسام مختلفة لجناح العنفة الهوائية إنطلاقاً من الجدول يمكن إعتبار أن التصميم الجنيح هو الخطوة الأولى .يوضح {الشكل 2.1} كيفية إنشاء الجنيح S809 ، و قد تم تنفيذ هذه الخطوة بناء على إستيراد ملف DAT. بعد إختيار المقطع المناسب للجناح ، يمكن أن تبدأ المحاكاة بإستخدام تحليل XFOIL المباشر .



X-Scale = 1.0
Y-Scale = 1.0
x = 0.7006
y = -0.1107

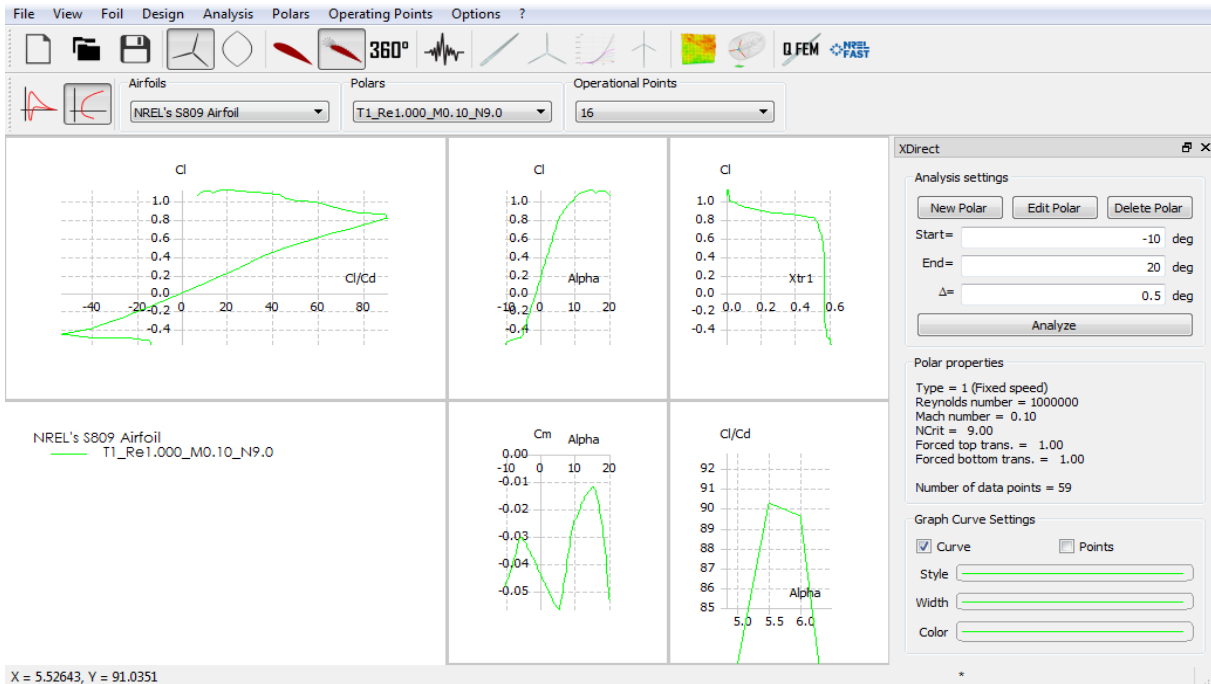
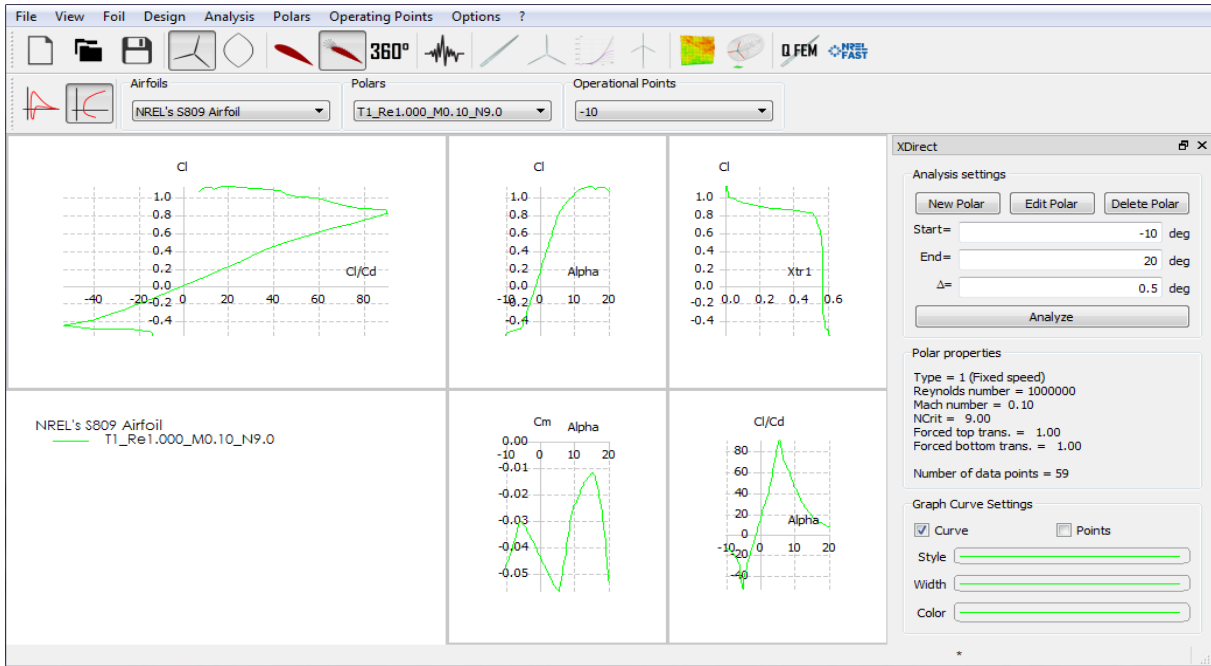
Name	hickness (%)	at (%)	Camber (%)	at (%)	Points	E Flap (deg)	TE XHinge	TE YHinge	Show	Points	Centerline	Style
1 Spline foil	9.03	31.20	0.00	0.00	60	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2 NREL's S809 Airfoil	20.99	38.30	0.99	82.30	66	0.00	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

{الشكل 2.1} إحداثيات المقطع المستورد S809

الفصل الرابع : دراسة وسيطية لعنفة هوائية صغيرة بواسطة برنامج Qblade



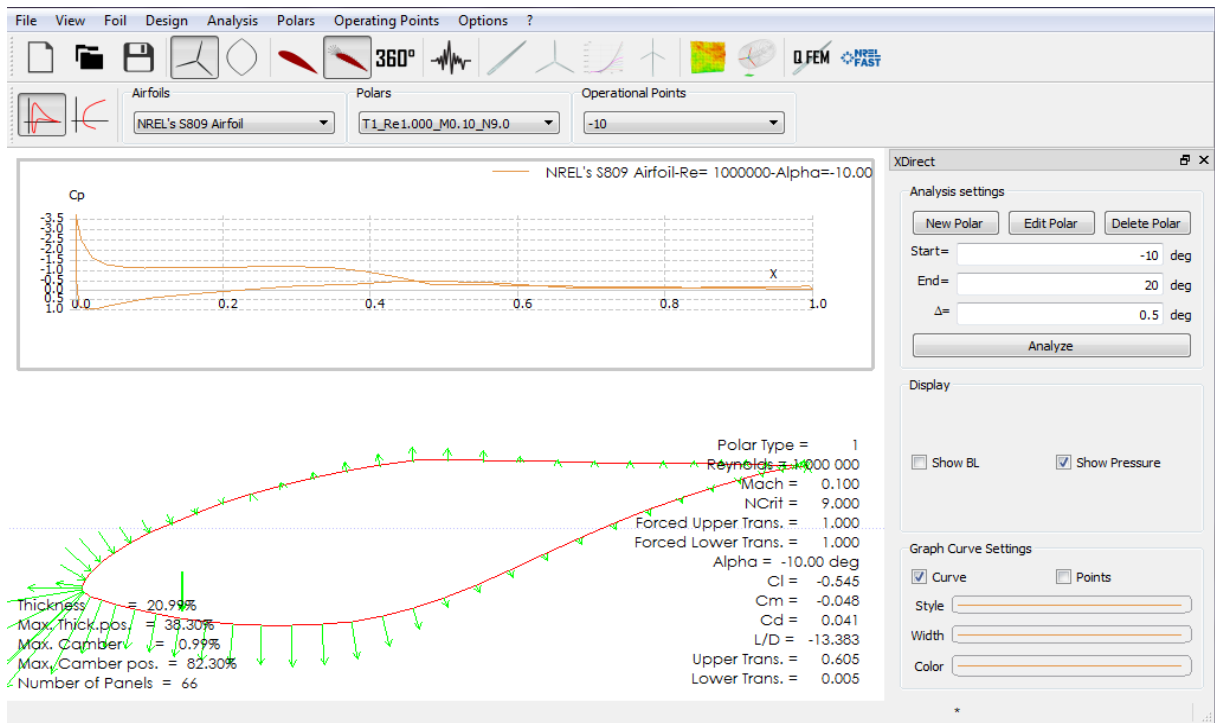
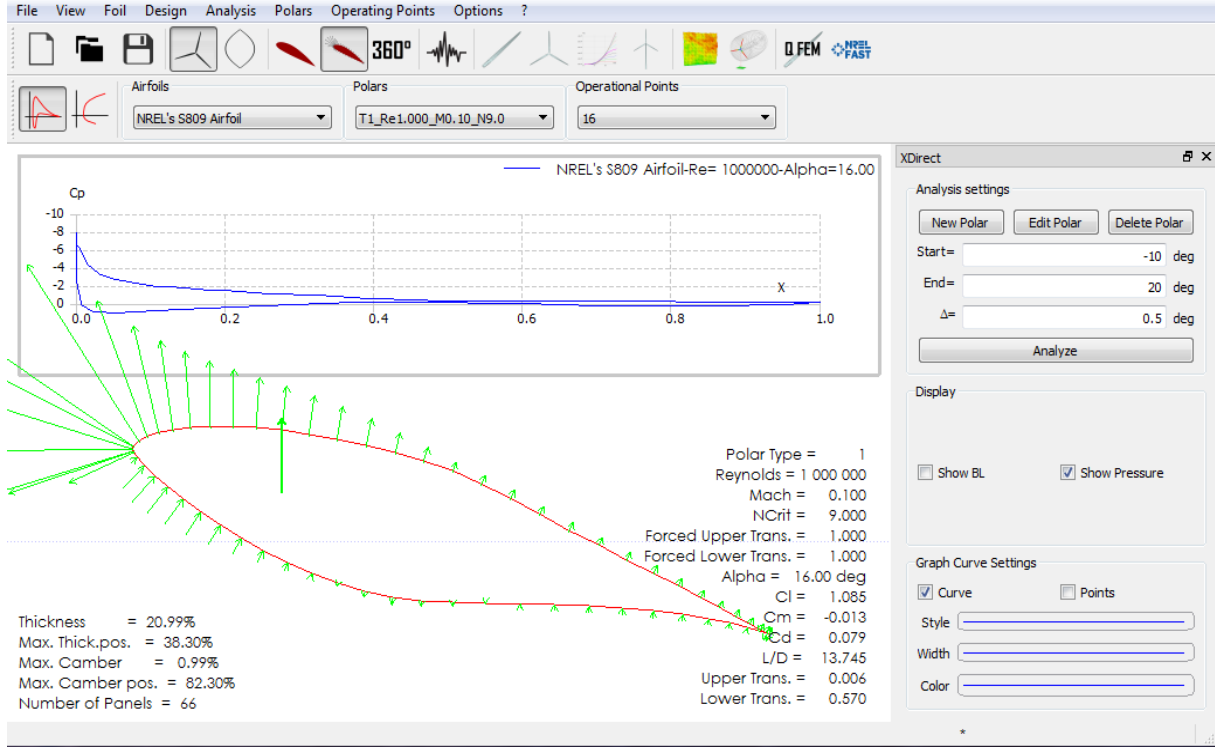
تبين هذه النتائج تحليل المقطع الأيروديناميكي S809 ، حيث تظهر كل من معاملات الرفع C_L ، و معامل المقاومة C_D بالنسبة لزاوية الهجوم حيث تفيد هذه النتائج على إعطاء زاوية الهجوم المثلى التي تعطي أعلى قيمة للمعامل C_L/C_D .



{الشكل 3.1} توزيع معاملي الرفع والمقاومة و نسبة معامل الرفع للمقاومة C_L/C_D

الفصل الرابع : دراسة وسيطة لعذبة هوائية صغيرة بواسطة برنامج Qblade

يمثل هذا الشكل توزيع الضغط على مقطع الجناح المدروس S809 حيث تظهر إختلاف توزيع القوى على الجناح في الحالتين و هذا سببه الإختلاف في زاوية الهجوم التي تتعلق بتغير الضغط على الجناح كما يظهر هذا المنحنى تغير معامل الضغط على الجناح حيث يتغير هذا الأخير بتغير زاوية الهجوم .AOA

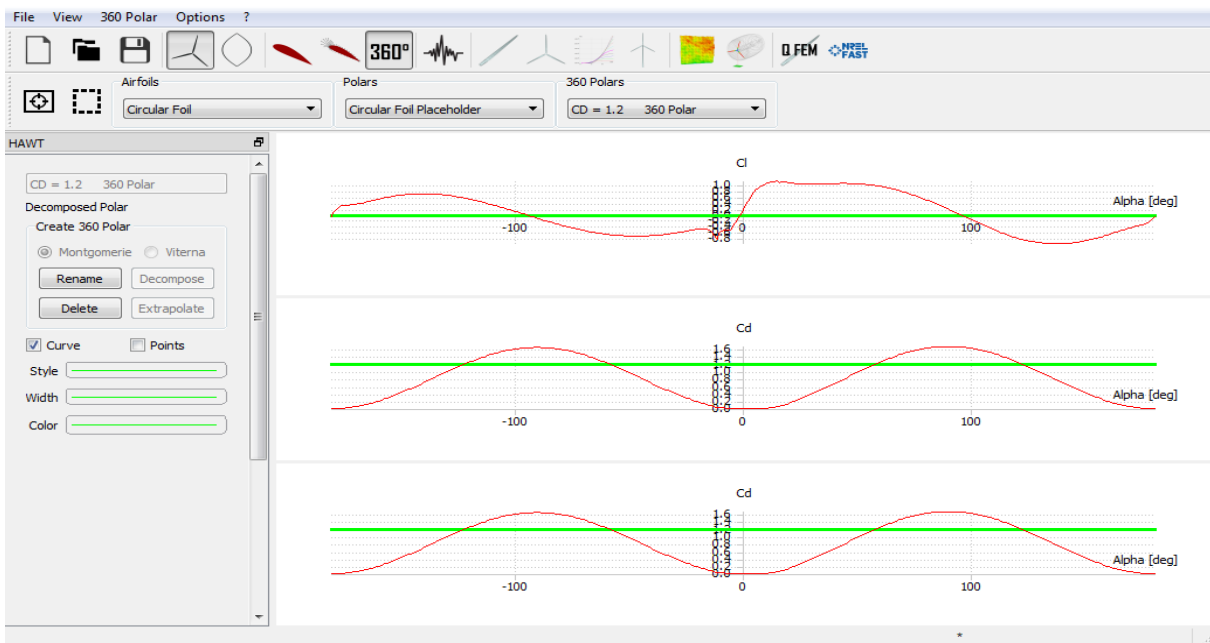
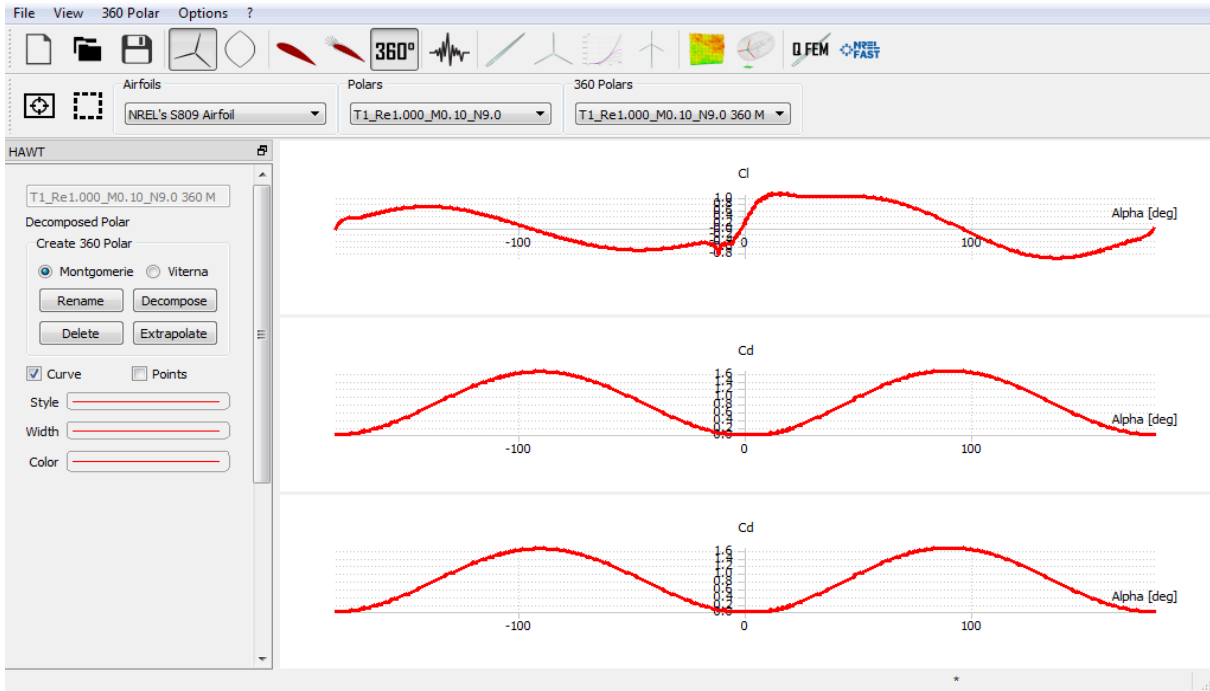


{ الشكل 4.1 } توزيع معامل الإستطاعة على مقطع S809 مع قيم مختلفة لزاوية الهجوم AOA

الفصل الرابع : دراسة وسيطة لعذبة هوائية صغيرة بواسطة برنامج Qblade



يمثل هذا المنحنى تغيرات معامل الرفع C_L و معامل الإعاقة C_D ، و نسبة C_L/C_D و دمجها في منحنى الإستقرار القطبي الدوري، كما تظهر نتائج تغيرات المقطع الدائري لهذه المعاملات ثابتة بالنسبة إلى مقطع S809.

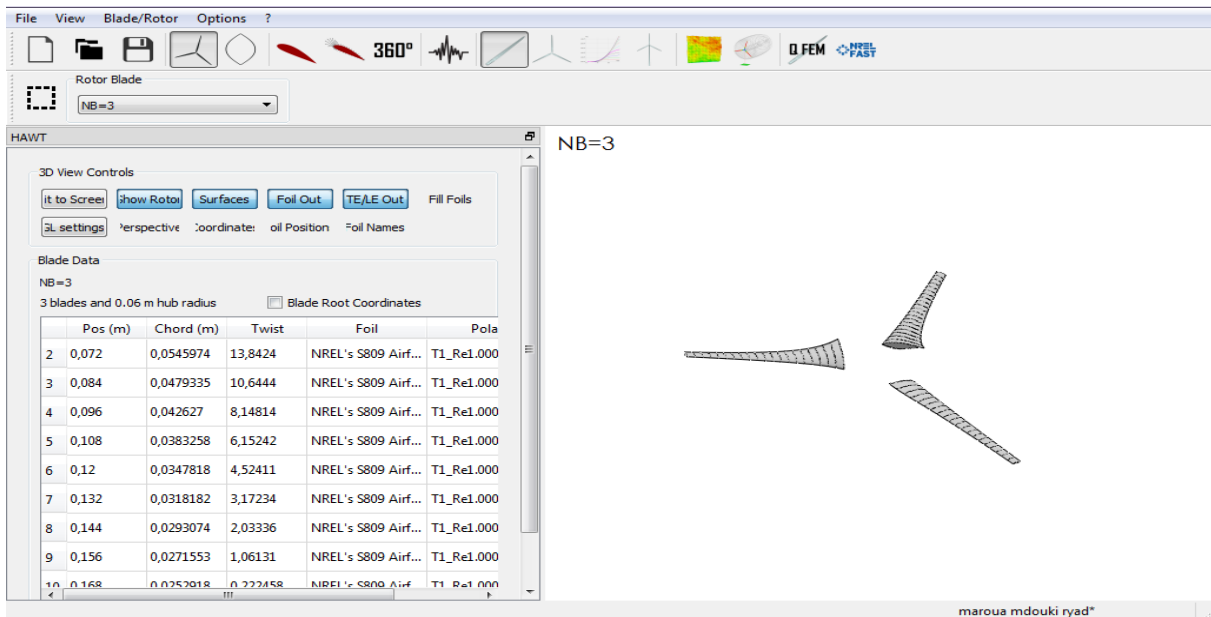
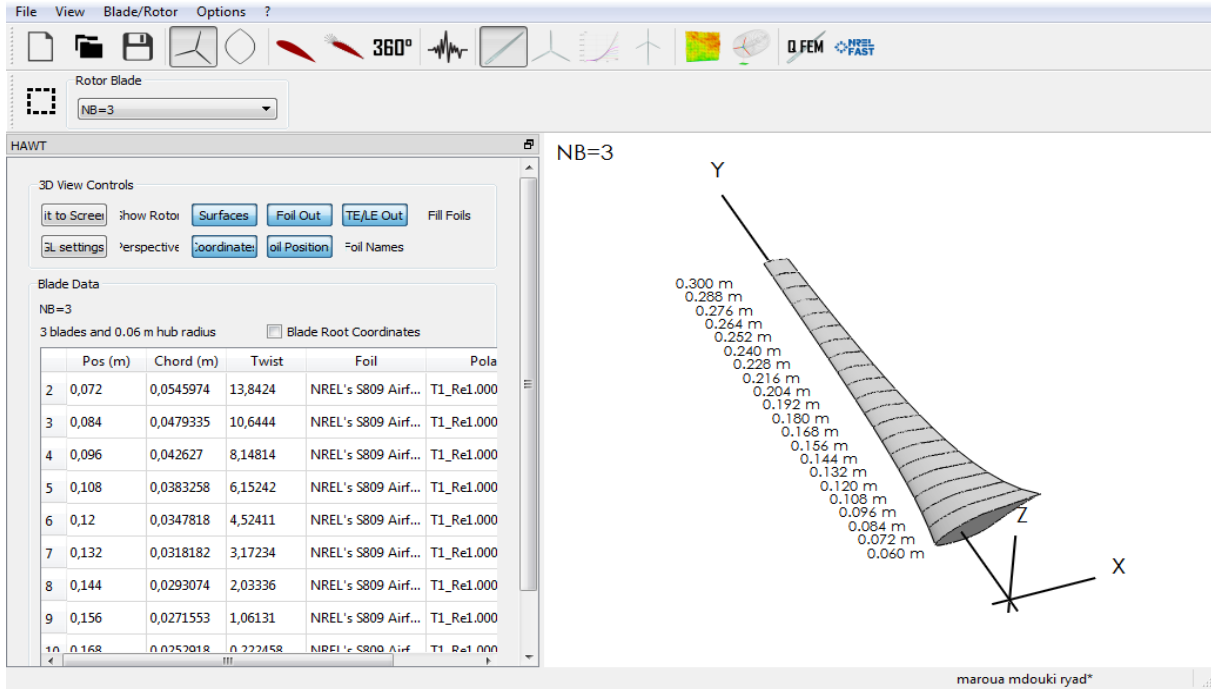


{ الشكل 5.1 } وحدة الإستقرار القطبي إلى 360 درجة

الفصل الرابع : دراسة وسيطة لعنفة هوائية صغيرة بواسطة برنامج Qblade



يتم في هذه المرحلة تشكيل جناح إيروديناميكي من مقطع جناح S809 حيث يتم التحكم في طول الوتر ، وزاوية الالتفاف ، و الموضع لكل مقطع. تجمع هذه المقاطع الثنائية البعد لإعطاء جناح ثلاثي البعد ، للعنفة و يمكن أيضا التحكم في عدد الأجنحة المصممة



{الشكل 6.1} وحدة تصميم الجنيح HAWT وجزء الفرعي للتعيين

المفصل الرابع : دراسة وسيطية لعذبة هوائية صغيرة بواسطة برنامج Qblade

File View Blade/Rotor Options ?

Rotor Blade
NB=6

HAWT

3D View Controls
[it to Screen] [show Rotor] [Surfaces] [Foil Out] [TE/AE Out] Fill Foils
[3L settings] [perspective] [coordinate] [oil Position] [Foil Names]

Blade Data
NB=6
6 blades and 0.06 m hub radius Blade Root Coordinates

	Pos (m)	Chord (m)	Twist	Foil	Pola
2	0,072	0,0272987	13,8424	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
3	0,084	0,0239668	10,6444	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
4	0,096	0,0213135	8,14814	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
5	0,108	0,0191629	6,15242	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
6	0,12	0,0173909	4,52411	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
7	0,132	0,0159091	3,17234	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
8	0,144	0,0146537	2,03336	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
9	0,156	0,0135776	1,06131	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
10	0,168	0,0126459	0,222458	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000

maroua mdouki ryad*

File View Blade/Rotor Options ?

Rotor Blade
NB=12

HAWT

3D View Controls
[it to Screen] [show Rotor] [Surfaces] [Foil Out] [TE/AE Out] Fill Foils
[3L settings] [perspective] [coordinate] [oil Position] [Foil Names]

Blade Data
NB=12
12 blades and 0.06 m hub radius Blade Root Coordinates

	Pos (m)	Chord (m)	Twist	Foil	Pola
2	0,072	0,0136494	13,8424	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
3	0,084	0,0119834	10,6444	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
4	0,096	0,0106567	8,14814	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
5	0,108	0,00958145	6,15242	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
6	0,12	0,00869545	4,52411	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
7	0,132	0,00795456	3,17234	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
8	0,144	0,00732684	2,03336	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
9	0,156	0,00678882	1,06131	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
10	0,168	0,00632205	0,222458	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000

maroua mdouki ryad*

File View Blade/Rotor Options ?

Rotor Blade
NB=24

HAWT

3D View Controls
[it to Screen] [show Rotor] [Surfaces] [Foil Out] [TE/AE Out] Fill Foils
[3L settings] [perspective] [coordinate] [oil Position] [Foil Names]

Blade Data
NB=24
24 blades and 0.06 m hub radius Blade Root Coordinates

	Pos (m)	Chord (m)	Twist	Foil	Pola
2	0,072	0,00682468	13,8424	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
3	0,084	0,00599169	10,6444	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
4	0,096	0,00532837	8,14814	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
5	0,108	0,00479073	6,15242	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
6	0,12	0,00434773	4,52411	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
7	0,132	0,00397728	3,17234	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
8	0,144	0,00366342	2,03336	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
9	0,156	0,00339441	1,06131	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000
10	0,168	0,00316148	0,222458	NREL's S809 Airf...	T1_Re1.000

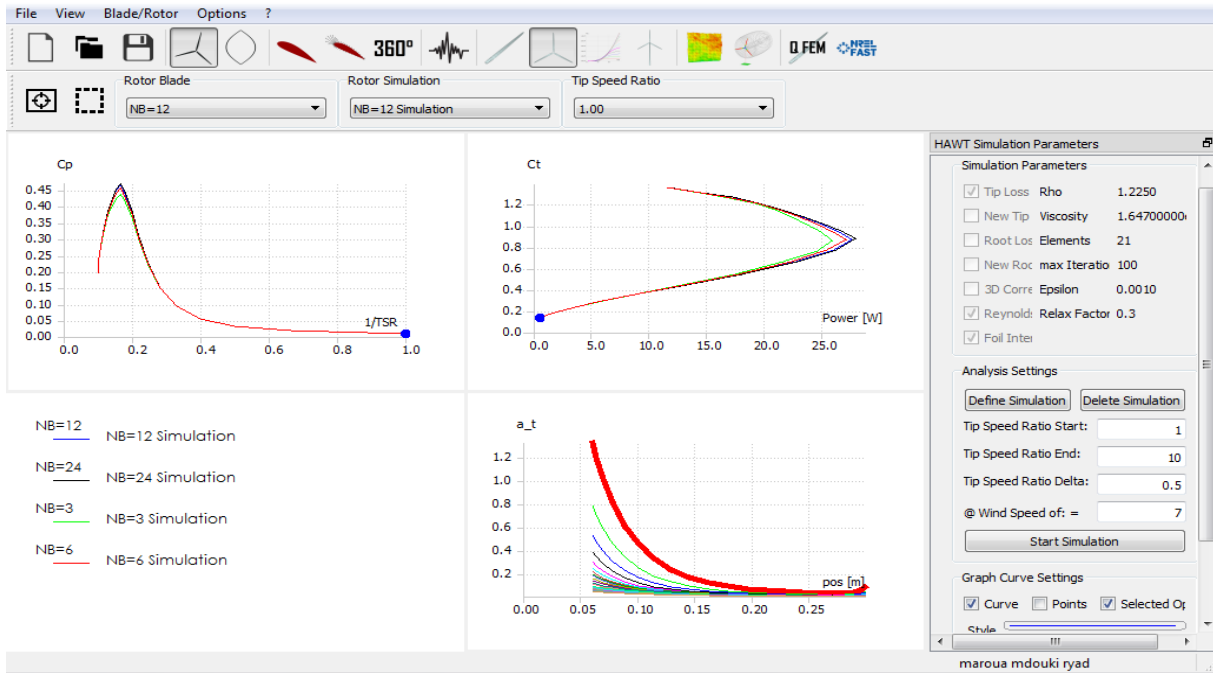
maroua mdouki ryad*

{ الشكل 7.1 } إنشاء عدة أجنحة انطلاقاً من وحدة التصميم

الفصل الرابع : دراسة وسيطة لعذبة هوائية صغيرة بواسطة برنامج Qblade



يتم إستعمال نظرية BEM في هذا الجزء من أجل الوصول إلى كل هذه النتائج التي تعمل على إظهار عدة متغيرات و معاملات أيروديناميكية حيث نجد في هذه المرحلة تأثير إختلاف سرعة الطرف على باقي المعاملات و يمكن أيضا مقارنة تأثير عدد الأجنحة على الإستطاعة بتغير سرعة الطرف أو سرعة الدوران .

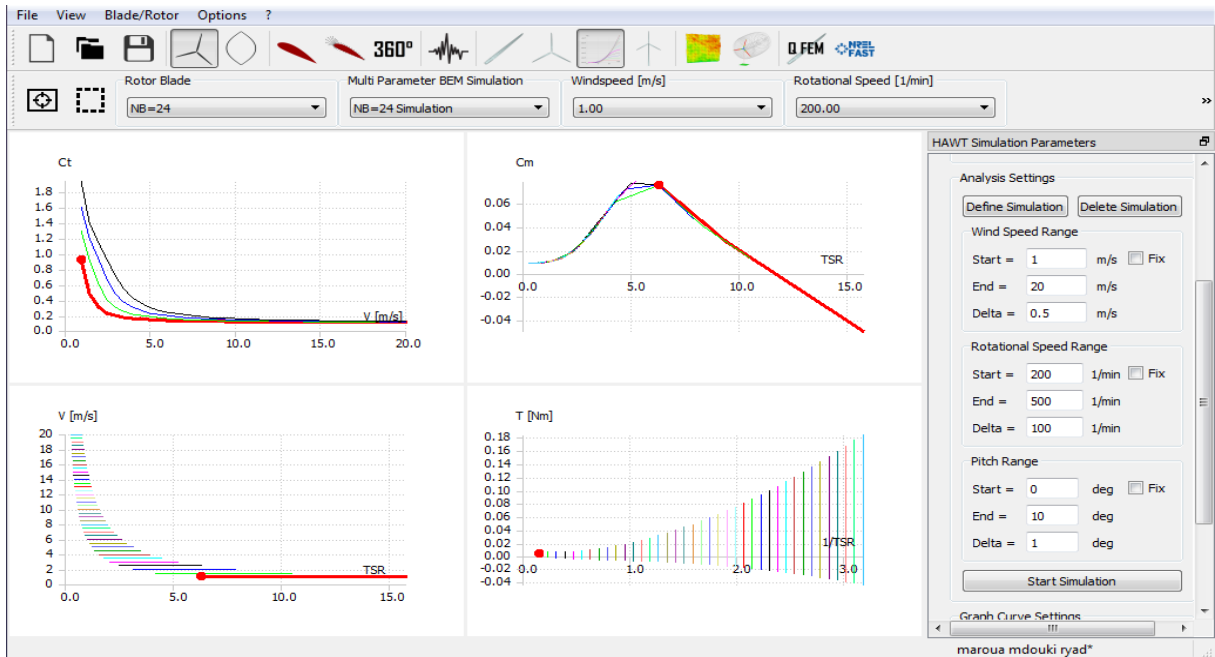
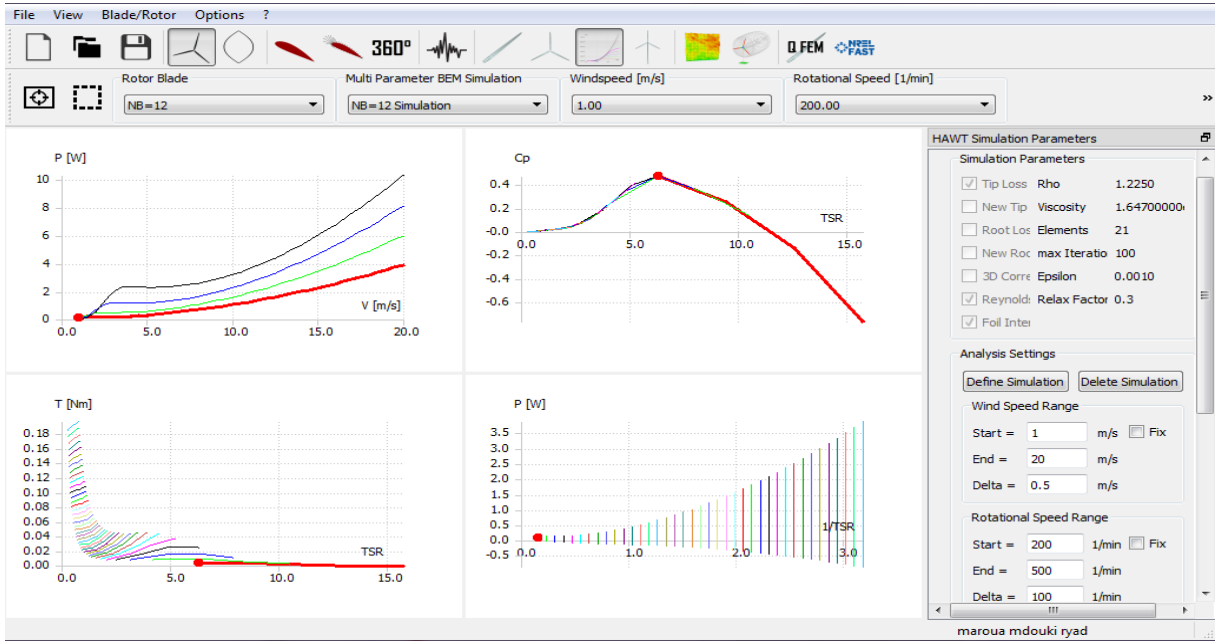


{ الشكل 8.1 محاكاة الدوران بإستعمال نظرية BEM }

الفصل الرابع : دراسة وسيطة لعنفة هوائية صغيرة بواسطة برنامج Qblade



في هذا الجزء يتم تحليل كل المعاملات المستخرجة من نظرية BEM و من هذا يمكننا التحكم في كل العوامل المرتبطة بعمل الجناح و إعطاء إستطاعته بتغيير جميع المؤثرات بدلالة سرعة الرياح أو سرعة الطرف.

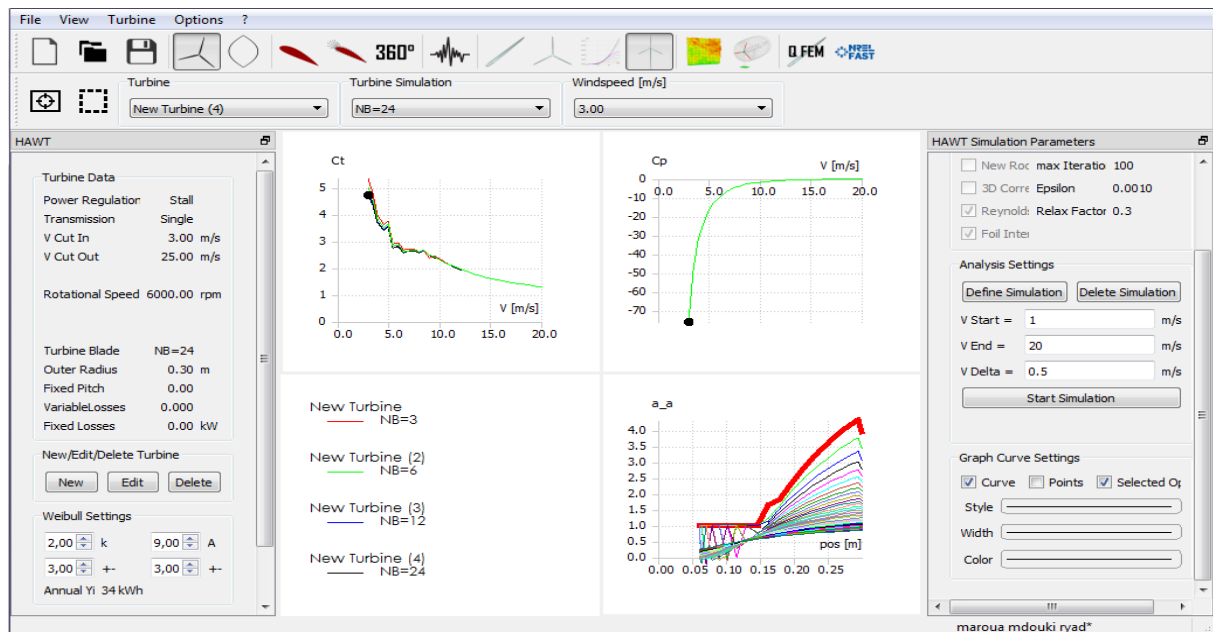
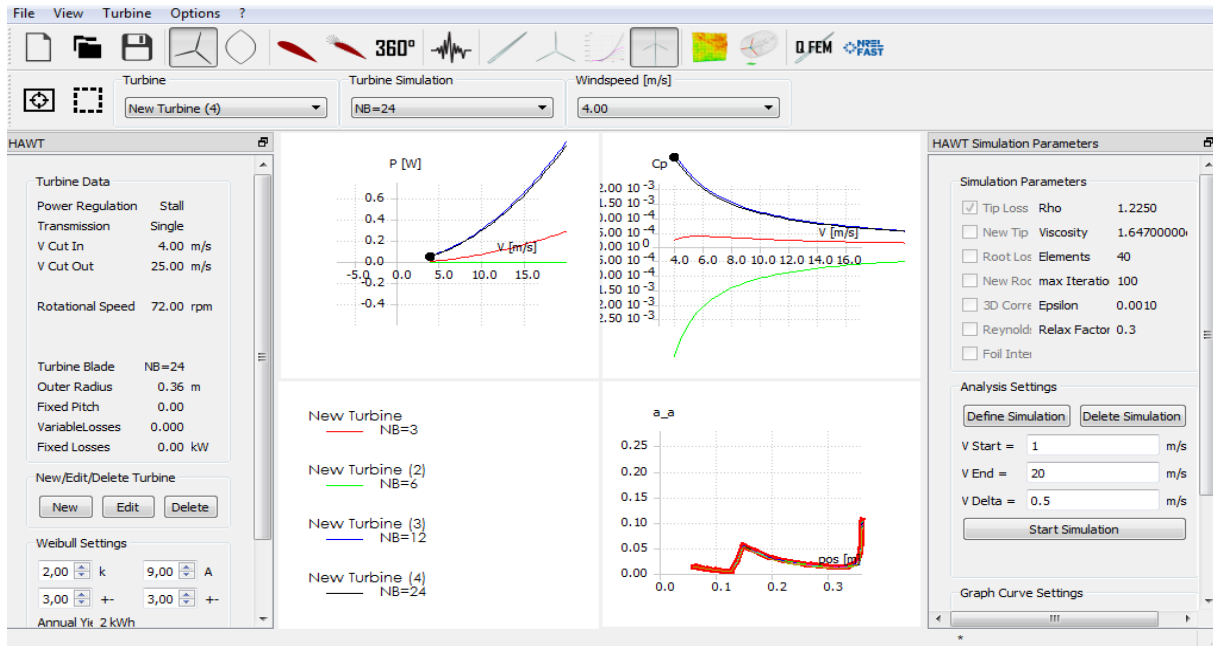


{ الشكل 9.1 وحدة محاكاة معاملات مزججة }

الفصل الرابع : دراسة وسيطية لعنفة هوائية صغيرة بواسطة برنامج Qblade



تعمل هذه الخلفية على إعطاء الخصائص الكلية الخاصة بعنفة من إستطاعة كلية للعنفة و نجد أنه في هذه المرحلة يمكن إدراج سرعة إقلاع العنفة على العمل V_{cut_in} ، و سرعة توقف العنفة V_{cut_out} و يمكن إدراج معاملات تخص العنفة بأكملها. تعتبر منحنيات هذه المرحلة وصفية للعنفة بأكملها بعد تصميم الجنيحات و تحليلها.

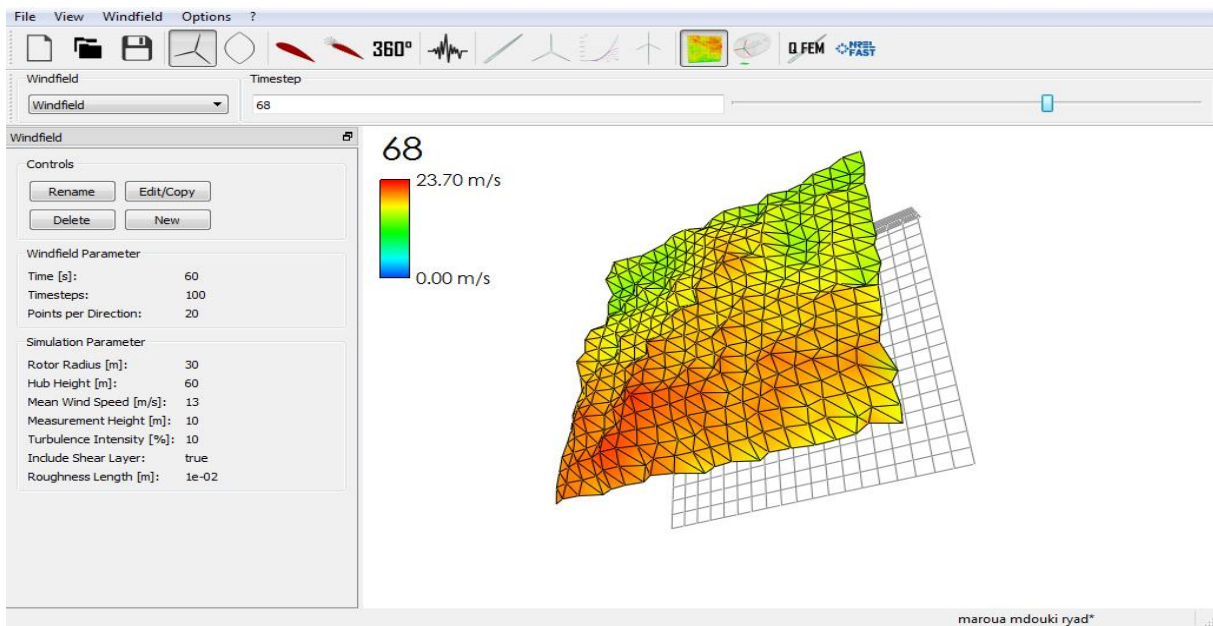
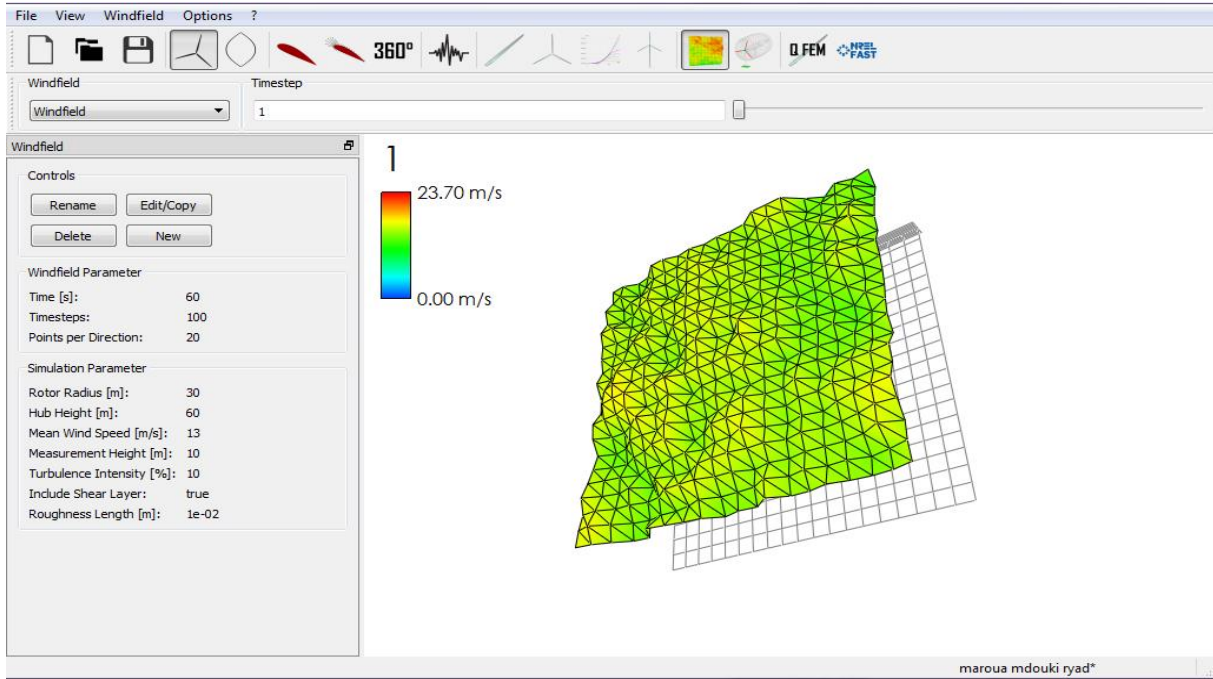


{ الشكل 10.1 } وحدة محاكاة العنفة HAWT بأحجامها

الفصل الرابع : دراسة وسيطية لعنفه هوائية صغيرة بواسطة برنامج Qblade



يمثل هذا المخطط الثلاثي الأبعاد توزيع الغير خطي لقوة الرفع الناشئة في مجال دوران الأجنحة و هو توزيع غير دائم (متعلقة بالزمن) وهو يعطي إنطباع دقيق على مفهوم الرفع للعنفه اعتمادا على حركة الكمونية.

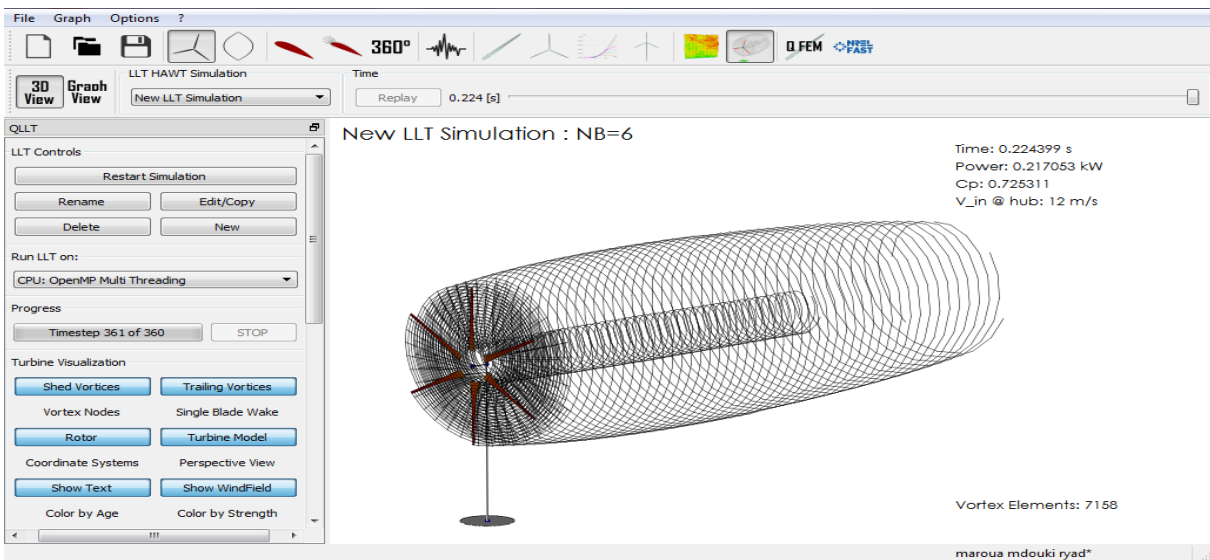
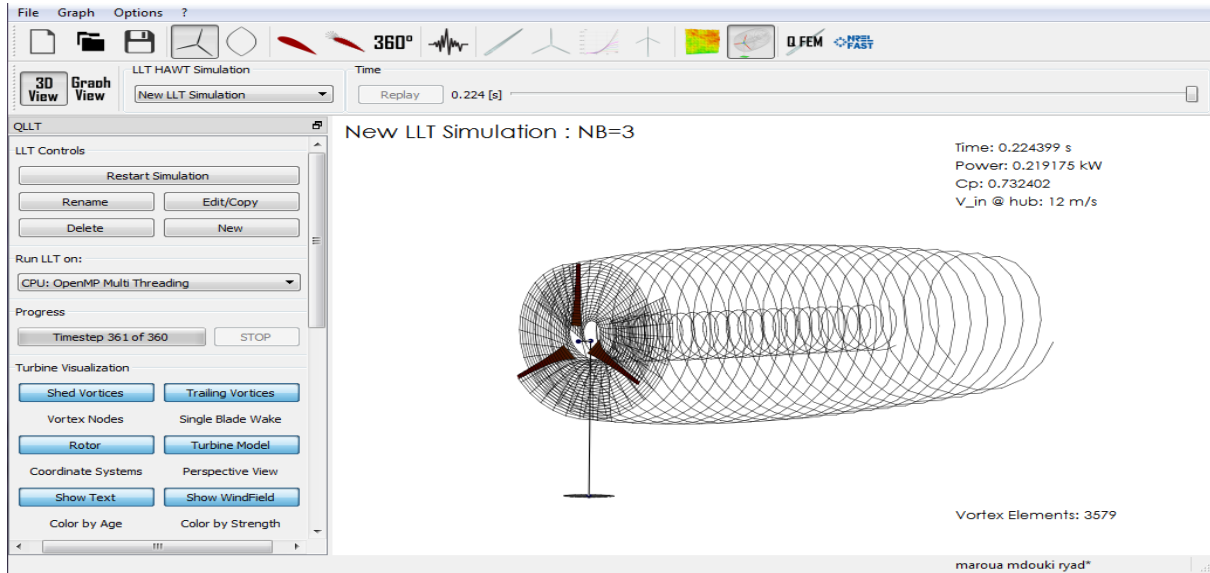


{الشكل 11.1 وحدة مولد Windfield المضطربة}

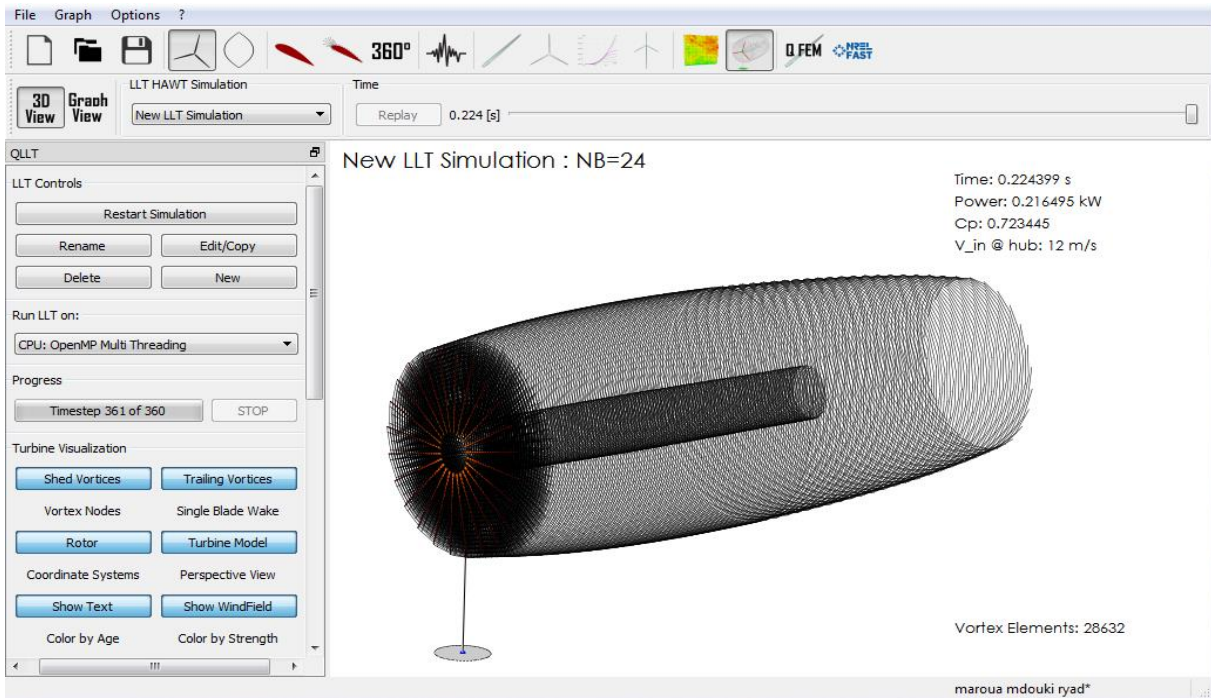
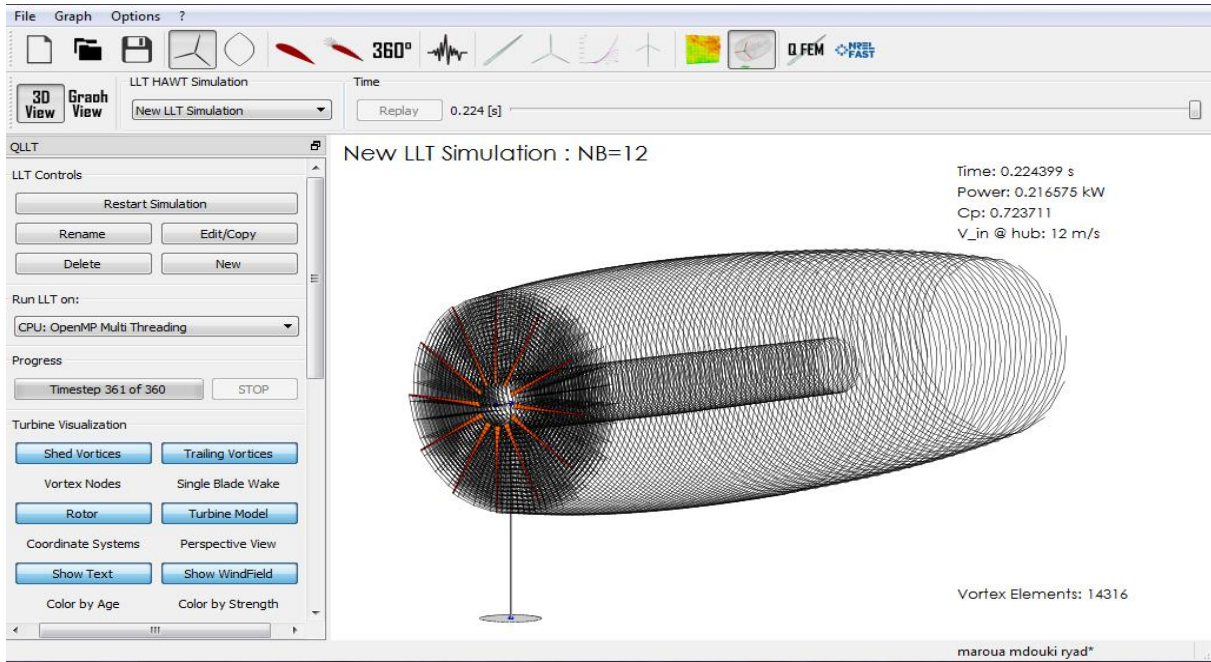
الفصل الرابع : دراسة وسيطية لعنفة هوائية صغيرة بواسطة برنامج Qblade



الدوامات الحلزونية : عند دوران جناح العنفة فإن خطوط التيار الهوائي التي تخترق الجناح عبر حافة الهجوم تنقسم بدورها إلى قسمين خطوط علوية متقاربة ، و خطوط سفلية متباعدة و عند وصول هذه الخطوط إلى حافة الإنفلات ، ينشئ ما يعرف بدوامات المضطربة إضافة إلى هذا النوع من الدوامات ، فإن لحدود الجناح عند الطرف و الجذر دوامات طرفية تكون لها كثافة أعلى من سابقتها ، تتشكل هذه الأخيرة بسبب وجود أسطح حرة. تعمل قوى الرفع على رفع الهواء من الأسفل نحو الأعلى يتسبب هذا السلوك في تشكيل دوامات طرفية ، يمكن حساب السرعة التحريضية عند هذه الدوامات بإستعمال قانون بيوسفارت ، و يمكن أيضا حساب قوة الرفع بإستخدام نظرية **kutta-jukowski** حيث توجد علاقة بين قوة الرفع و السرعة التحريضية والجولان .



{ الشكل 12.1 وحدة محاكاة الدوامات الحلزونية في محدد أجنحة 3 و 6 }



{ الشكل 13.1 وحدة محاكاة الدوامات الحلزونية في عدد أجنحة 12 و 24 }

نلاحظ من خلال الأشكال الأربعة تشكل دوامات حلزونية لكن بكثافة متباينة و هذه نتيجة منطقية، لأن الزيادة في عدد الأجنحة يعمل على زيادة تشكل الدوامات و بالتالي زيادة في قوة الرفع L . إن الزيادة في عدد الأجنحة للعنفة يعمل على زيادة تشكل الدوامات في العنفة التي تحوي 24 جناح ، و تتناقص تدريجيا في العنفات التي تحوي 6 أجنحة أو 12 جناح ، كما نلاحظ أدنى إنخفاض لهذه الكثافة عند عدد أجنحة $NB=3$ ، مع العلم أن هذه المحاكات غير دائمة لأنها متعلقة بالزمن.

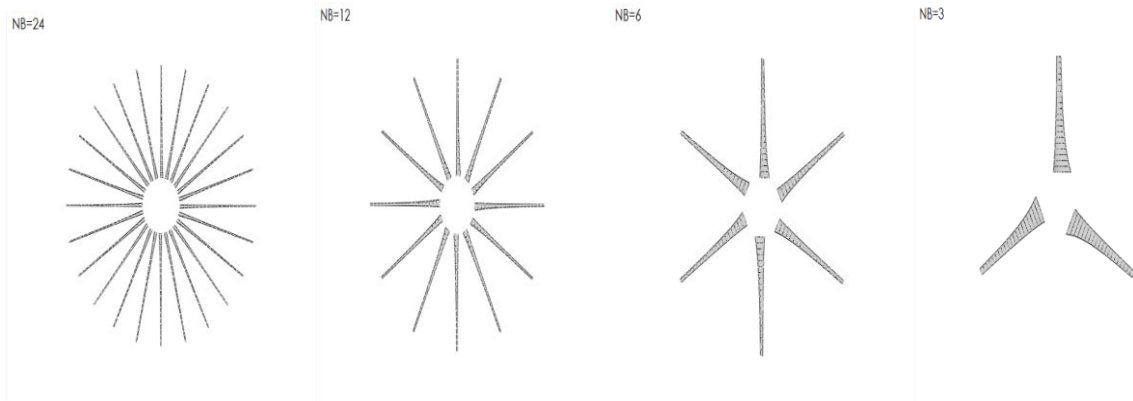
(3) نتائج

إن العنفات الهوائية المستخدمة في العالم تختلف من حيث عدد الأجنحة و السرعة النوعية و طول الجناح و لكن العنفات الأكثر إستعمالا هي العنفات الهوائية أفقية المحور ذات ثلاث أجنحة ، في هذا الجزء سنقوم بعرض النتائج المتحصل عليها من خلال برنامج Qblade ، وذلك بعد إختيار مقطع إيروديناميكي المناسب S809 و تعيين الخصائص المثلى لجناح العنفة الهوائية أفقية المحور ، لتحصل على نتائج المرادة لا بد من توفير المعطيات التالية :

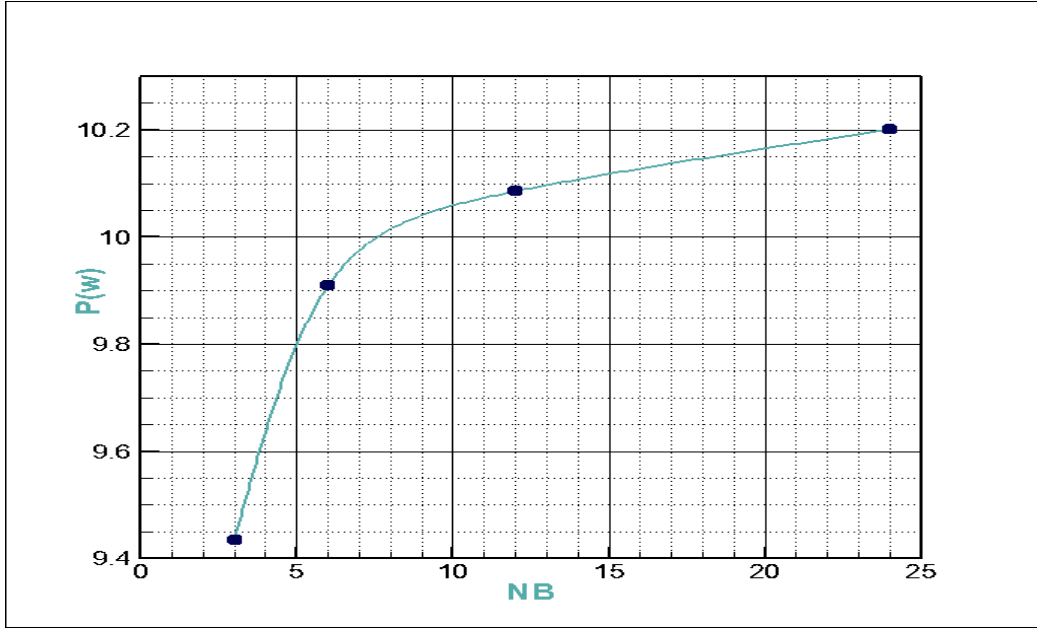
- ✓ عدد الأجنحة NB .
- ✓ السرعة النوعية λ .
- ✓ نصف قطر الدوار RTip .
- ✓ نصف قطر الجذع Rhub .
- ✓ نسبة طول الجذر على طول الجناح htr .
- ✓ سرعة الرياح V_inf .

(1.3) دراسة تأثير عدد الأجنحة NB :

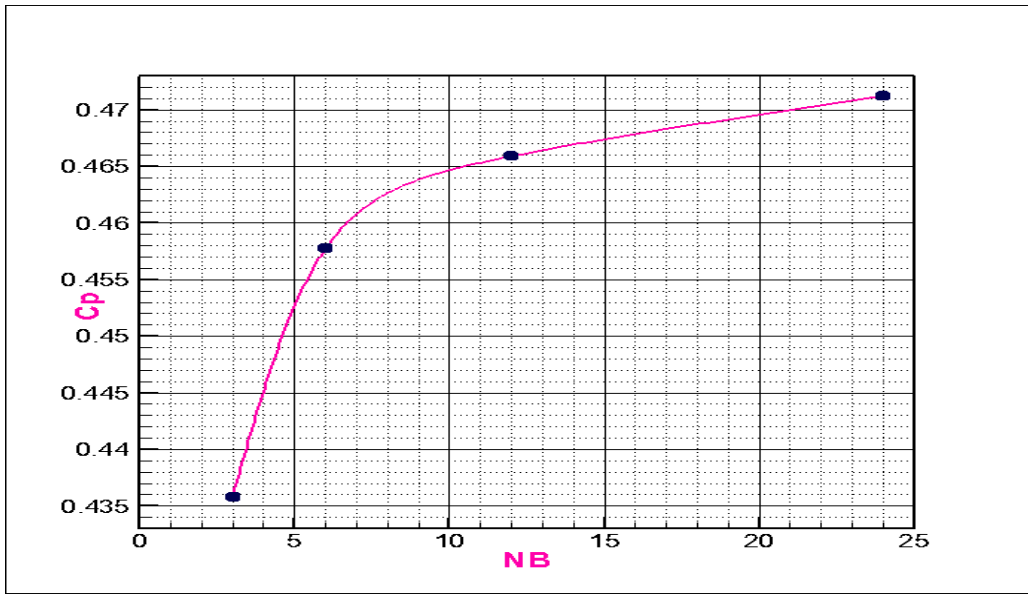
لمعرفة تأثير تغيير عدد الأجنحة على الخصائص الأيروديناميكية (الإستطاعة P ، العزم M ، قوة الدفع T ، معامل الإستطاعة C_p ، معامل العزم C_m ، معامل الدفع C_T) سوف نقوم بتثبيت كل من سرعة الهواء $V=5 \text{ m/s}$ و سرعة النوعية $\lambda=6$ نصف قطر العنفة $R_{Tip}=0.3$ و نصف قطر الجذر $R_{hub}=0.06$ و كذلك نسبة نصف قطر الجذر على نصف قطر العنفة $htr=20\%$ ، كما نقوم في كل مرة بتغيير عدد الأجنحة $NB=3$ ، $NB=6$ ، $NB=12$ ، $NB=24$.



{الشكل 1.2} أجنحة عنفات ذات 3 و 6 و 12 و 24 جناح



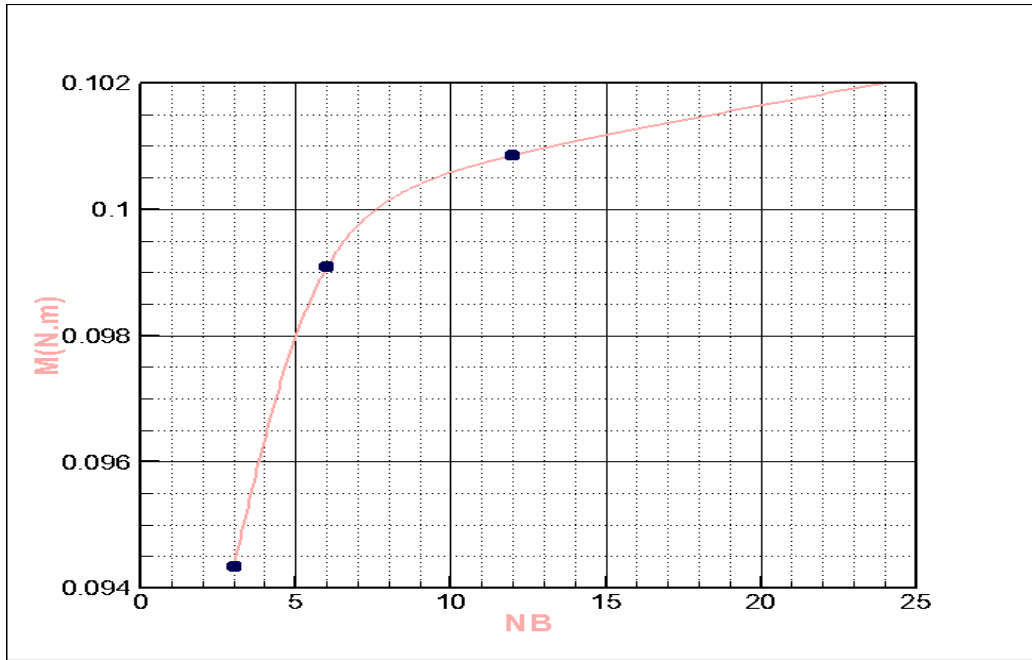
{الشكل 2.2} تأثير عدد الأجنحة على الإستطاعة



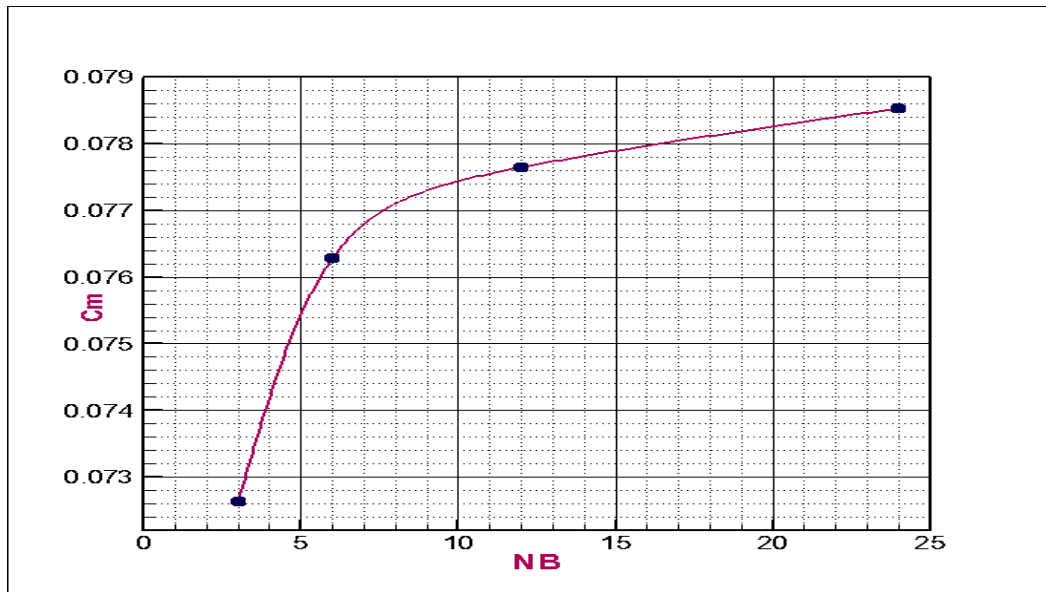
{الشكل 3.2} تأثير عدد الأجنحة على معامل الإستطاعة

تعليق

نلاحظ من خلال الشكلين أن تغير الإستطاعة P ومعامل الإستطاعة C_p يزداد بزيادة عدد الأجنحة و هذا راجع لكون الزيادة في عدد الأجنحة NB يعمل على إمتصاص طاقة أكبر من الهواء. حيث نسجل تغيرات في كل من الإستطاعة P ومعاملها C_p تحت تأثير عدد الأجنحة فنلاحظ أنه عندما تكون عدد أجنحة أقل من $NB=12$ يكون معدل التغير معتبرة أما عندما تكون أكثر من $NB=12$ يكون معدل التغير مهملاً.



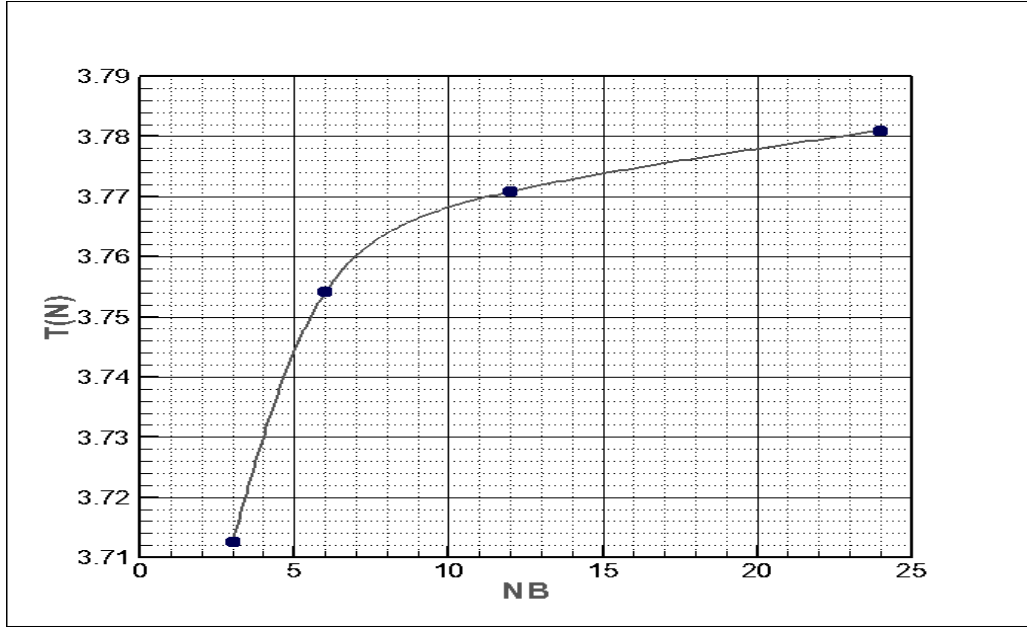
{ الشكل 4.2 } تأثير عدد الأجنحة على العزم



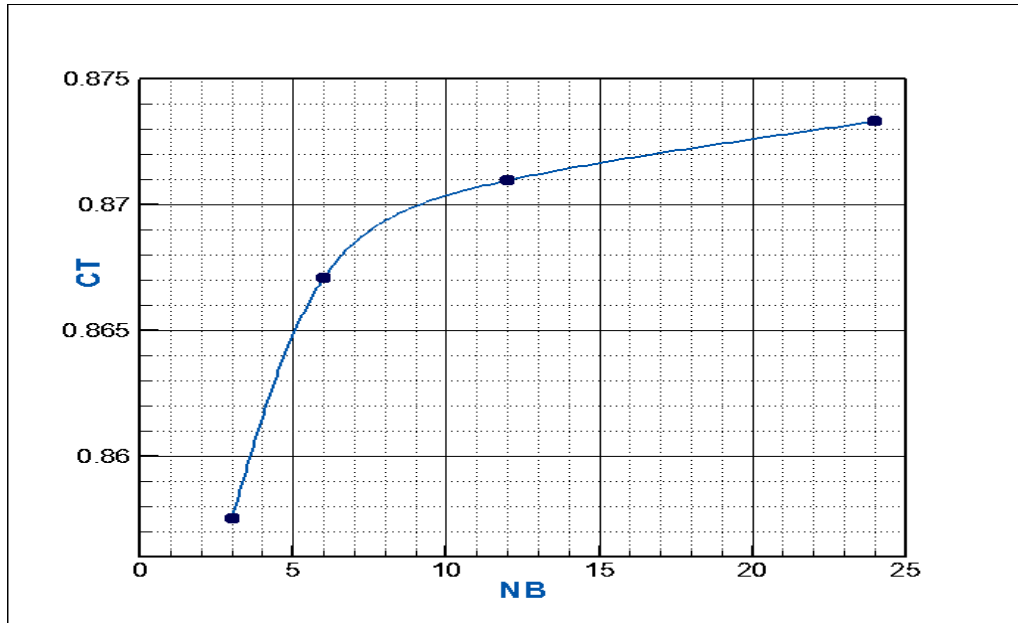
{ الشكل 5.2 } تأثير عدد الأجنحة على معامل العزم

تعليق

إن زيادة العزم M و معامل العزم C_m مع زيادة عدد الأجنحة NB نتيجة منطقية سببها زيادة قيمة العزم من خلال زيادة عدد الأجنحة . نلاحظ أنه كلما كان عدد الأجنحة أقل من $NB=12$ يكون معدل الزيادة كبير نسبياً أما إذا كان أكثر من $NB=12$ يمكن إعتبار الزيادة مهملة .



{الشكل 6.2} تأثير عدد الأجنحة على قوة الدفع



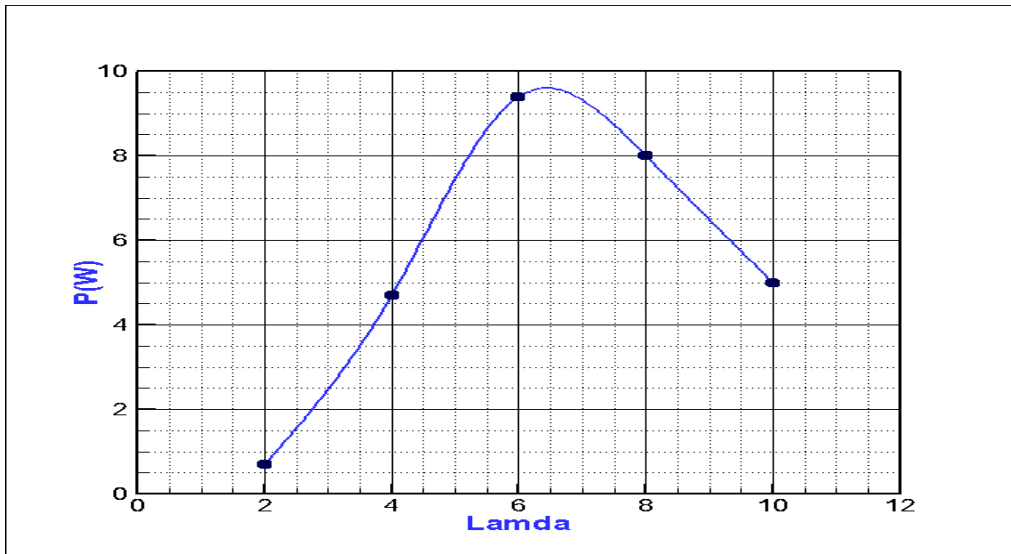
{الشكل 7.2} تأثير عدد الأجنحة على معامل قوة الدفع

تعليق:

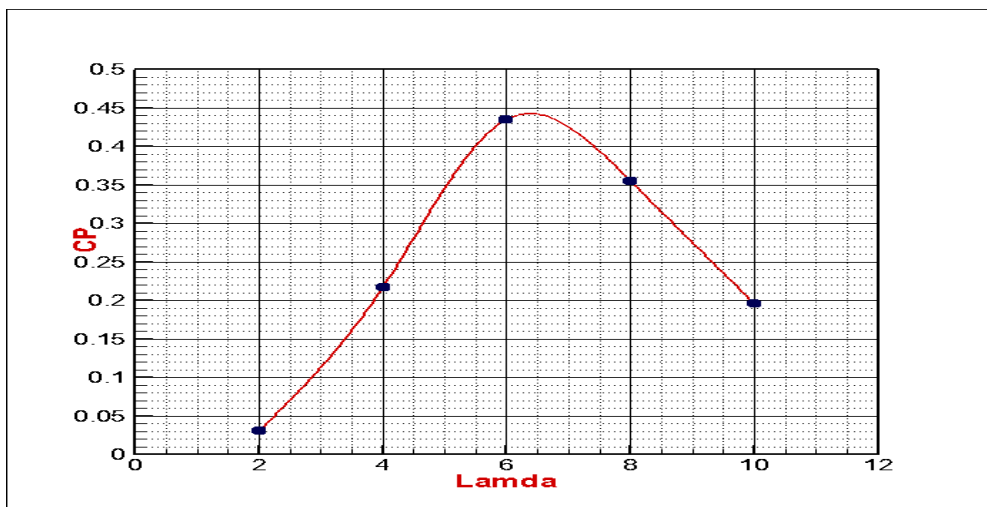
من المتوقع أن الزيادة في عدد الأجنحة يعمل على زيادة سطح التلامس بين الأجنحة و الهواء و الذي يؤدي بدوره إلى الزيادة في صلابة العنفة ، نسجل نفس الملاحظة خاصة بالمعاملات السابقة فنلاحظ أنه عندما تكون عدد أجنحة أقل من $NB=12$ يكون معدل الزيادة معتبر أما عندما تكون عدد الأجنحة أكثر من $NB=12$ يكون مهملاً.

2.3 دراسة تأثير السرعة النوعية λ :

لمعرفة تأثير تغير السرعة النوعية على الخصائص الأيروديناميكية (الإستطاعة P، العزم M، قوة الدفع T، معامل الإستطاعة C_p ، معامل العزم C_m ، معامل قوة الدفع C_T) سوف نقوم بتثبيت كل من سرعة الهواء $V=5 \text{ m/s}$ و عدد الأجنحة $NB=3$ و نصف قطر العنفة $R_{Tip}=0.3$ و نصف قطر الجذر $R_{hub}=0.06$ و كذلك نسبة نصف قطر الجذر على نصف قطر العنفة $h_{tr}=20\%$ ، كما نقوم في كل مرة بتغيير السرعة النوعية $\lambda=2, \lambda=4, \lambda=6, \lambda=8, \lambda=10$ من خلال تغيير قيمة السرعة الدورانية على الترتيب $\Omega=318 \text{ tr/min}, \Omega=636 \text{ tr/min}, \Omega=955 \text{ tr/min}, \Omega=1274 \text{ tr/min}, \Omega=1592 \text{ tr/min}$.



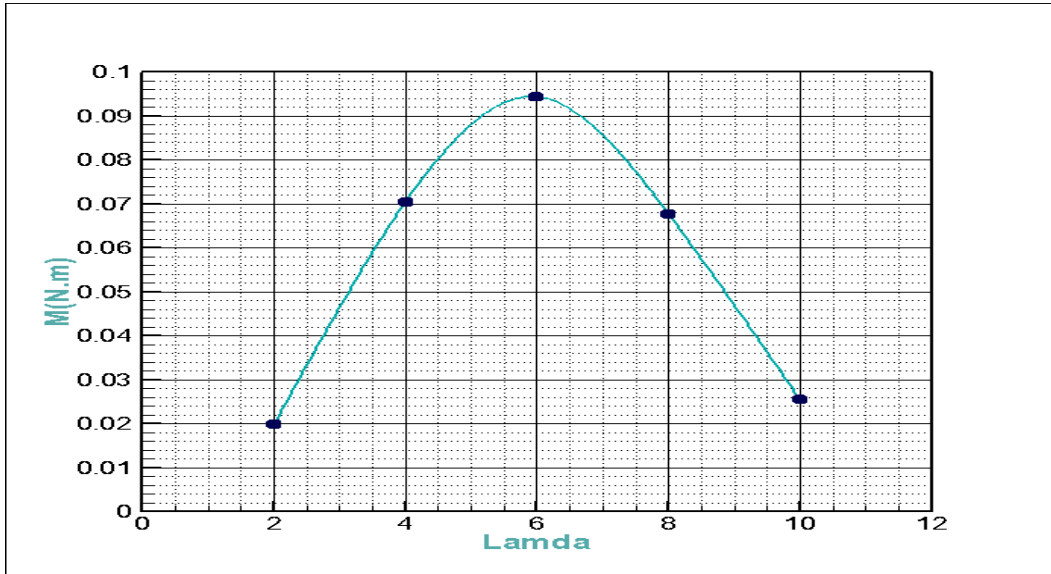
{الشكل 1.3} تأثير السرعة النوعية على الإستطاعة



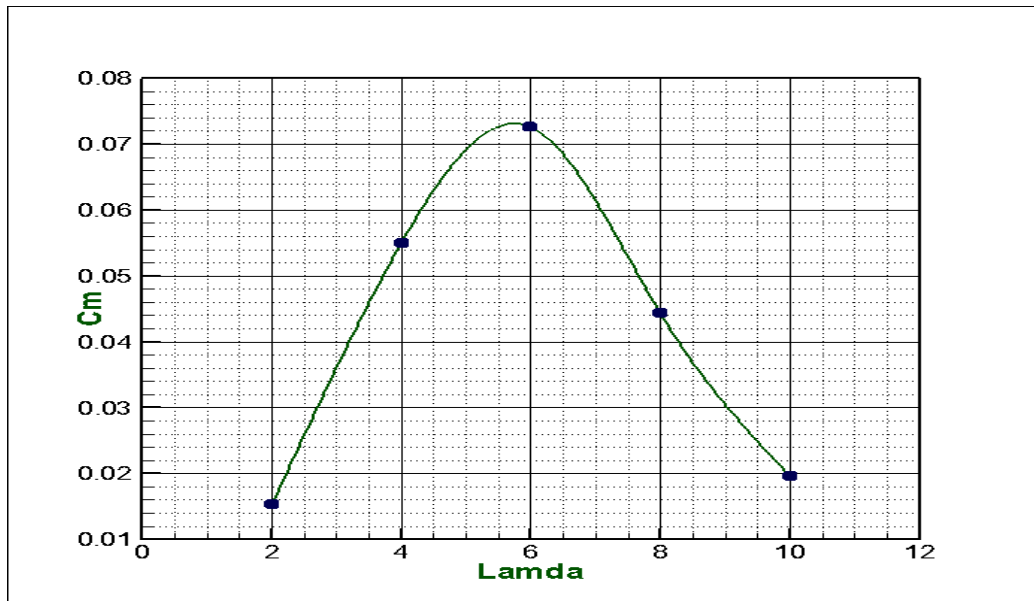
{الشكل 2.3} تأثير السرعة النوعية على معامل الإستطاعة

تعليق

من المنطق أن زيادة السرعة الدورانية للدوار تعتمد على زيادة السرعة النوعية و العكس صحيح ، حيث نلاحظ أن أعلى قيمة للإستطاعة P و معامل الإستطاعة C_p تكون في حدود $\text{Lamda}=6$ ، و عندما تزداد السرعة النوعية نلاحظ تناقصا في قيمة الإستطاعة و معاملها إلى أن تنخفض إلى أدنى قيمة توافق $\text{Lamda}=10$ ، و هذا راجع لكون كفاءة العنفة (C_p, P)، تأخذ بعين الإعتبار تأثير السرعة الدورانية حيث كلما زادت هذه الأخيرة تزداد كفاءة العنفة إلى أن تبلغ قيمتها عظمى عند القيمة الحرجة $\Omega = 955$ =tr/min ثم تتناقص ويحدث لها تدهور على مستوى التبادل الطاقوي في هذا المجال.



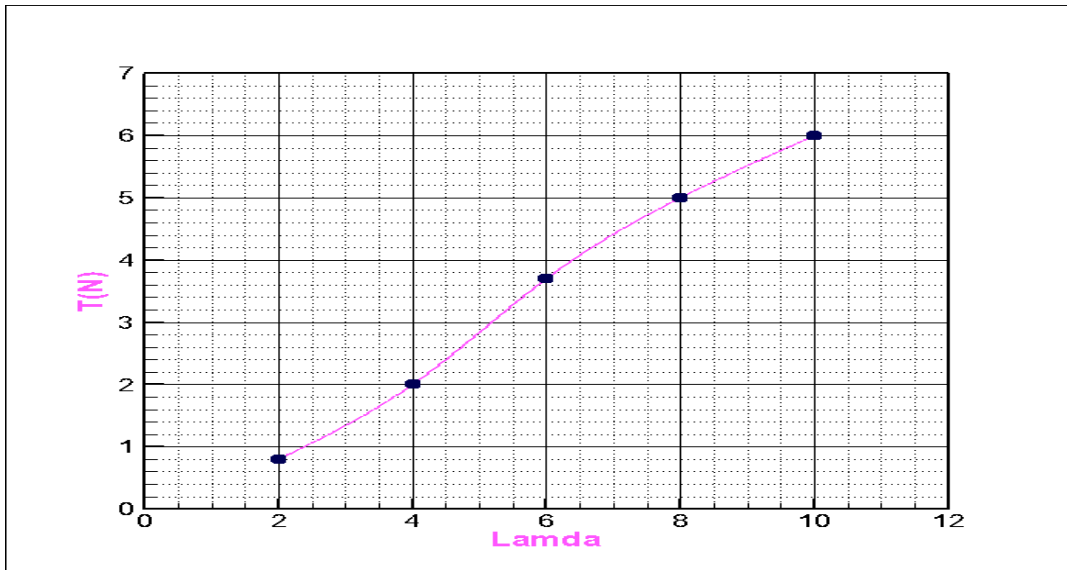
{الشكل 3.3} تأثير السرعة النوعية على العزم



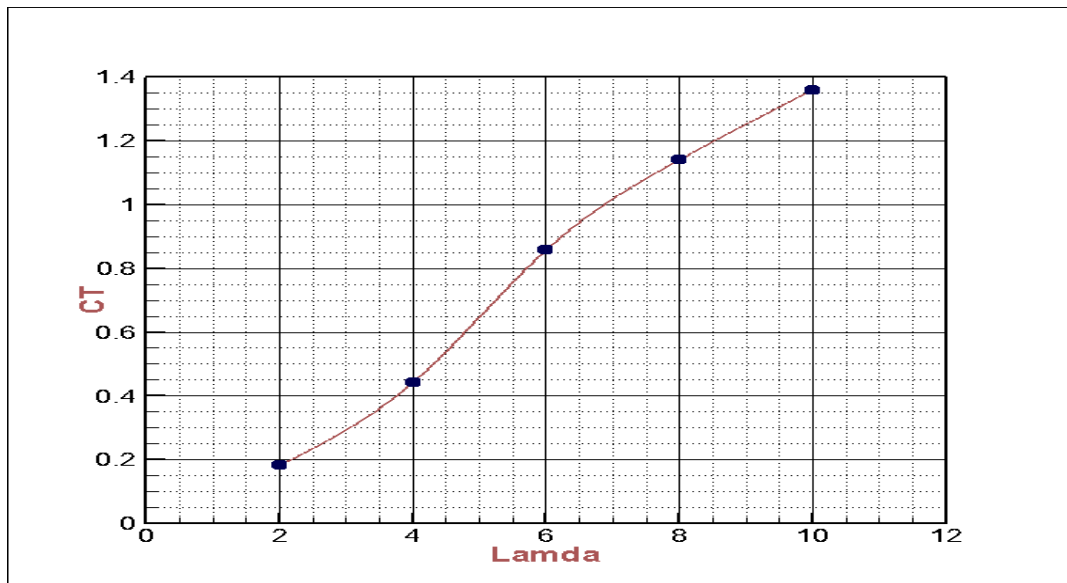
{الشكل 4.3} تأثير السرعة النوعية على معامل العزم

تعليق

نلاحظ من المنحنى أن العزم يتزايد بتزايد السرعة النوعية λ ، إلى أن تبلغ قيمته العظمى عند $\lambda=6$ ، و يتناقص بعد القيمة العظمى له، حيث نلاحظ أدنى قيمة له عند $\lambda=2$ ، وهذه النتيجة تشجعنا على إختيار $\lambda=6$ كقيمة مثلى لهذه التجربة، نأخذ بعين الإعتبار تأثير السرعة الدورانية حيث كلما زادت هذه الأخيرة تزداد قيمة العزم M إلى أن تبلغ قيمتها عظمى عند القيمة الحرجة $\Omega=955 \text{ tr/min}$ ثم تتناقص ويحدث لها تدهور على مستوى التبادل الطاقوي في هذا المجال. و هذا أيضا يعمم على منحنى معامل العزم C_m .



{الشكل 5.3} تأثير السرعة النوعية على قوة الدفع



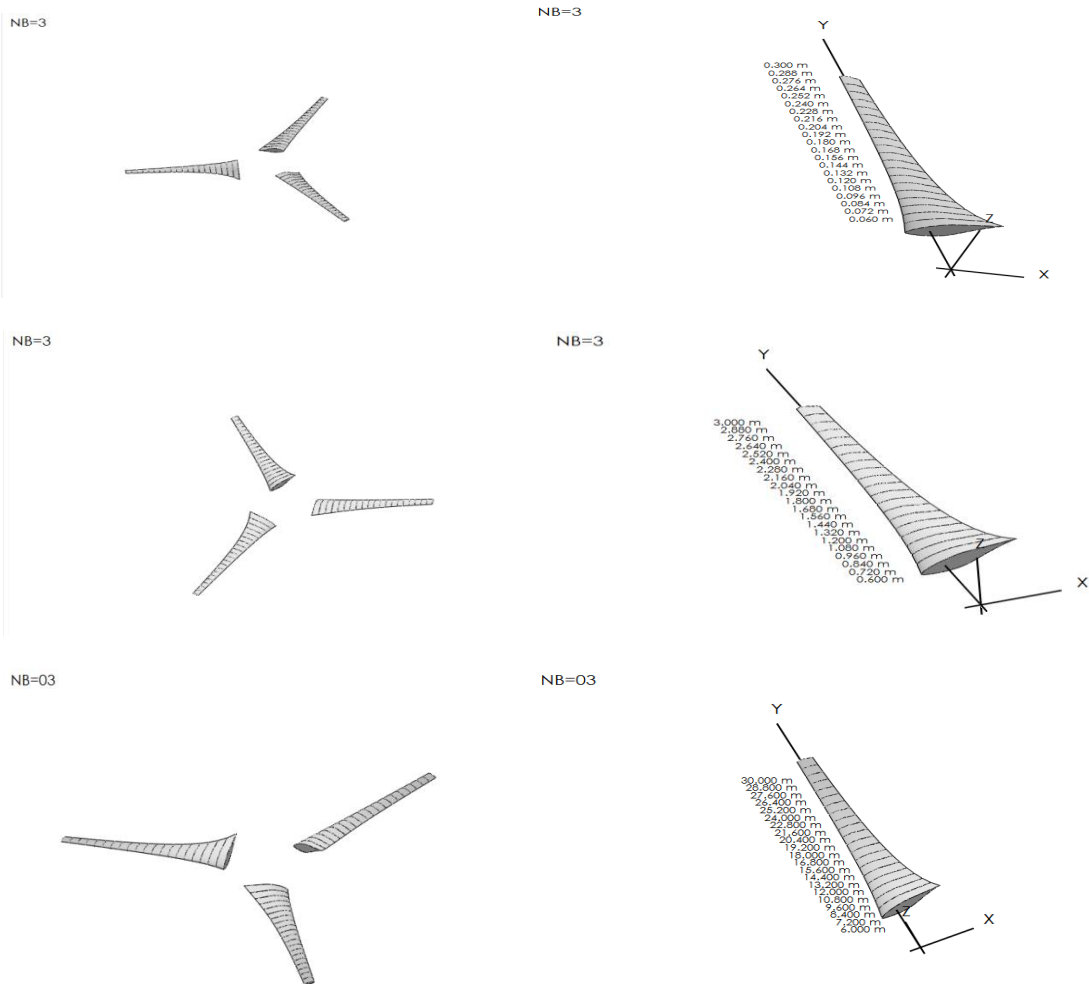
{الشكل 6.3} تأثير السرعة النوعية على معامل قوة الدفع

تعليق:

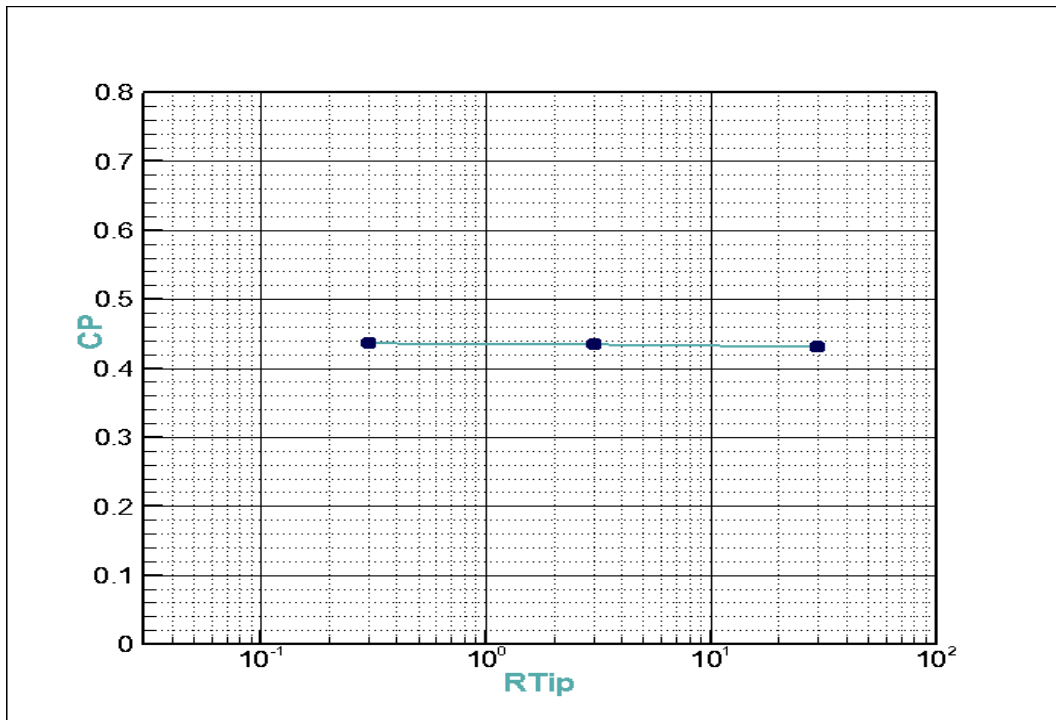
نلاحظ أن بزيادة السرعة النوعية للهواء λ تزداد كل من قوة الدفع T و معامل قوة الدفع C_T . نفسر ذلك أنه عند سرعات دورانية ضعيفة يسهل مرور الهواء و بالتالي تكون قوة الدفع ضعيفة و عكس يحدث في سرعات العالية حيث يصعب مرور الهواء و ترتفع قيمة قوة الدفع.

3.3) دراسة تأثير نصف قطر العنفة RTip :

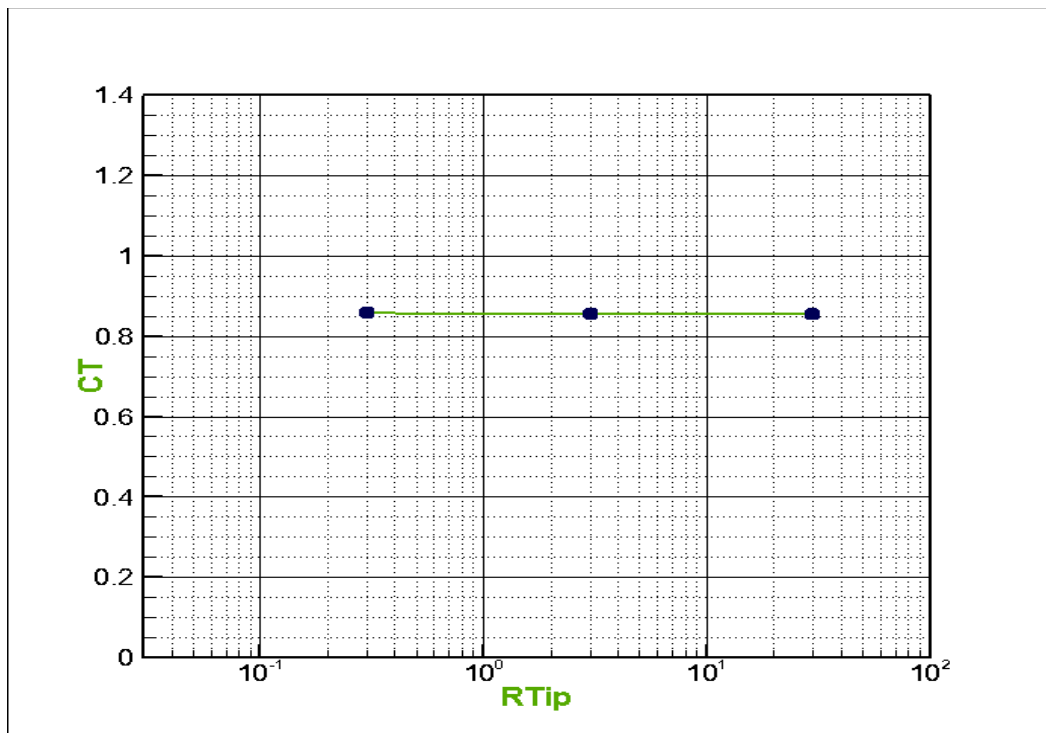
في هذا الجزء سوف نقوم بتثبيت كل من سرعة الهواء $V=5 \text{ m/s}$ و عدد الأجنحة $NB=3$ و سرعة النوعية $\lambda=6$ نصف قطر الجذر $R_{hub}=0.06$ و كذلك نسبة نصف قطر الجذر على نصف قطر العنفة $htr=20\%$ ، في كل مرة نقوم بحساب الخصائص الأيروديناميكية (الإستطاعة P، العزم M، قوة الدفع T، معامل الإستطاعة C_p ، معامل العزم C_m ، معامل قوة الدفع C_T) من أجل نصف قطر العنفة $RTip=0.3$ ، $RTip=3$ ، $RTip=30$ ، لمعرفة تأثيرها على هذه الخصائص .



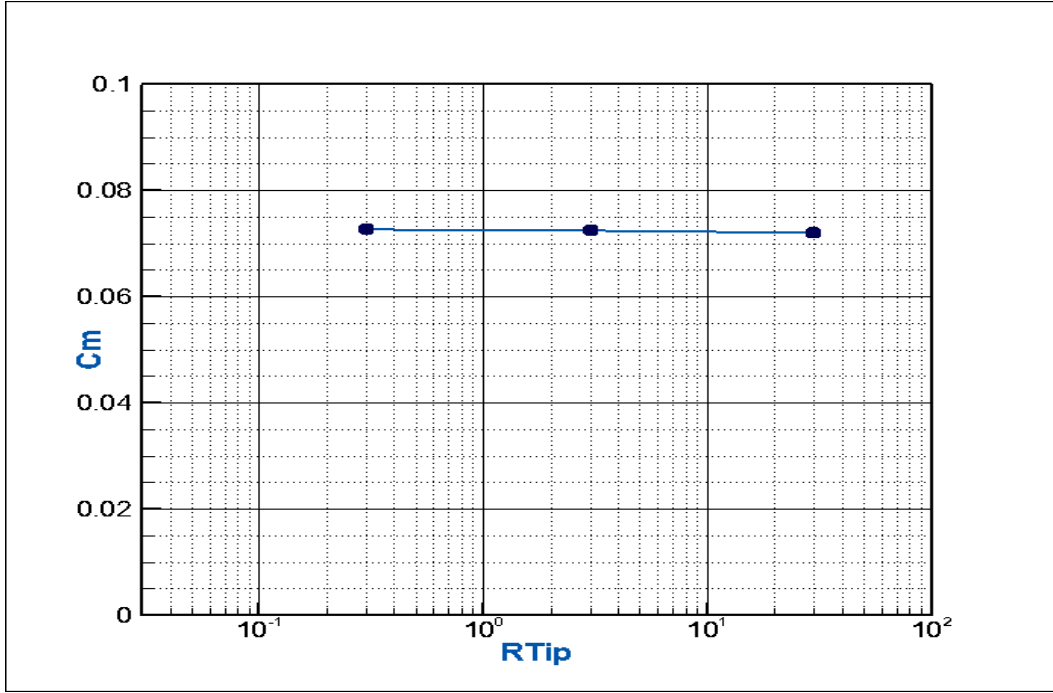
{ الشكل 1.4 } تصميم أجنحة بدلالة تغير RTip



{الشكل 2.4} تأثير نصف قطر العنفة على معامل الإستطاعة



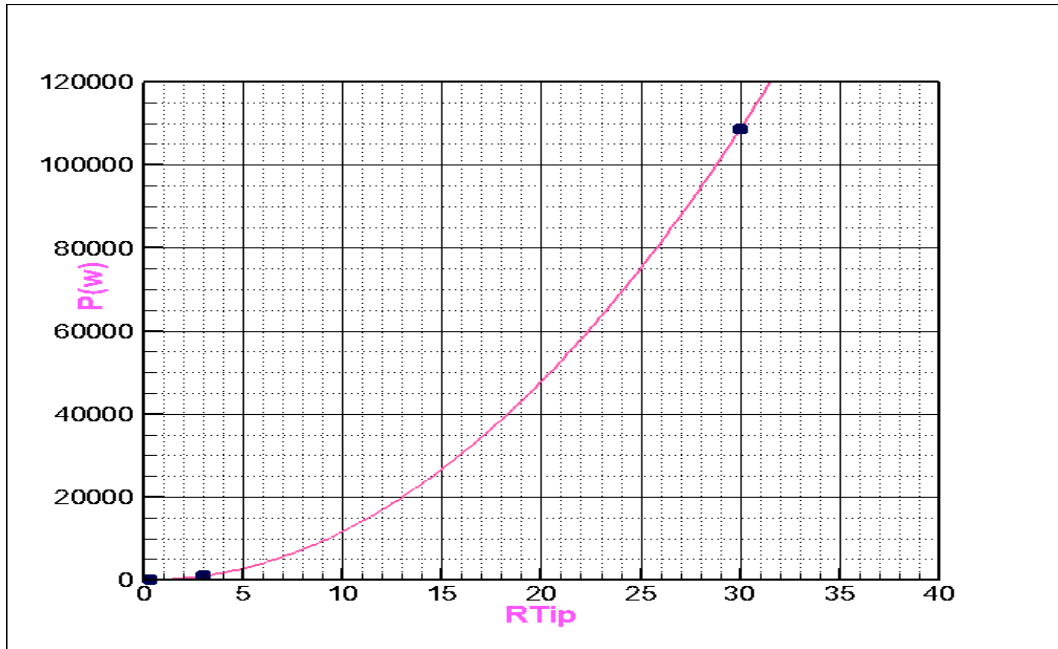
{الشكل 3.4} تأثير نصف قطر العنفة على معامل قوة الدفع



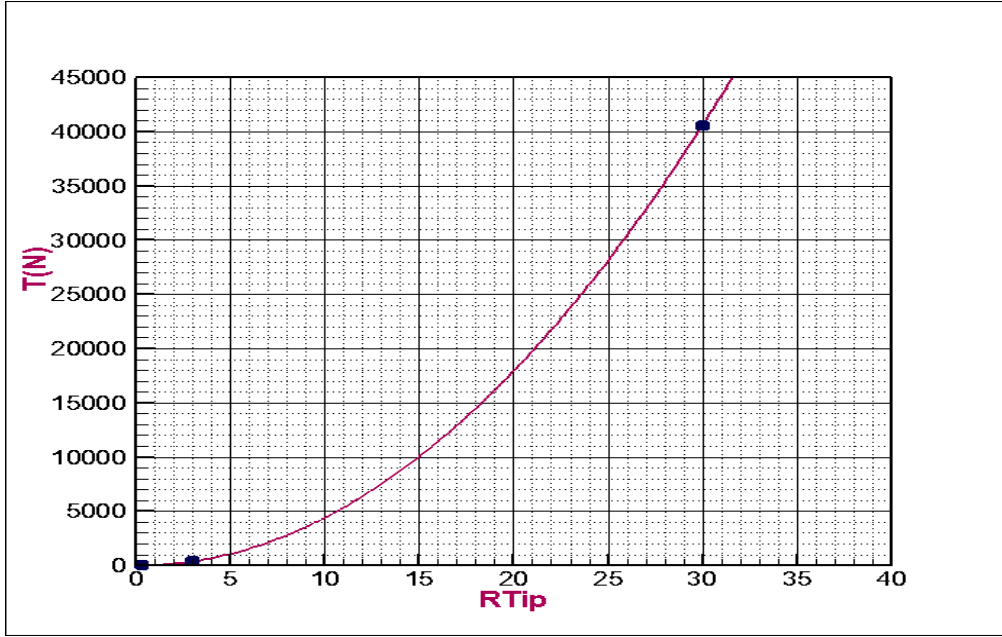
{الشكل 4.4} تأثير نصف قطر العنفة على معامل العزم

تعليق

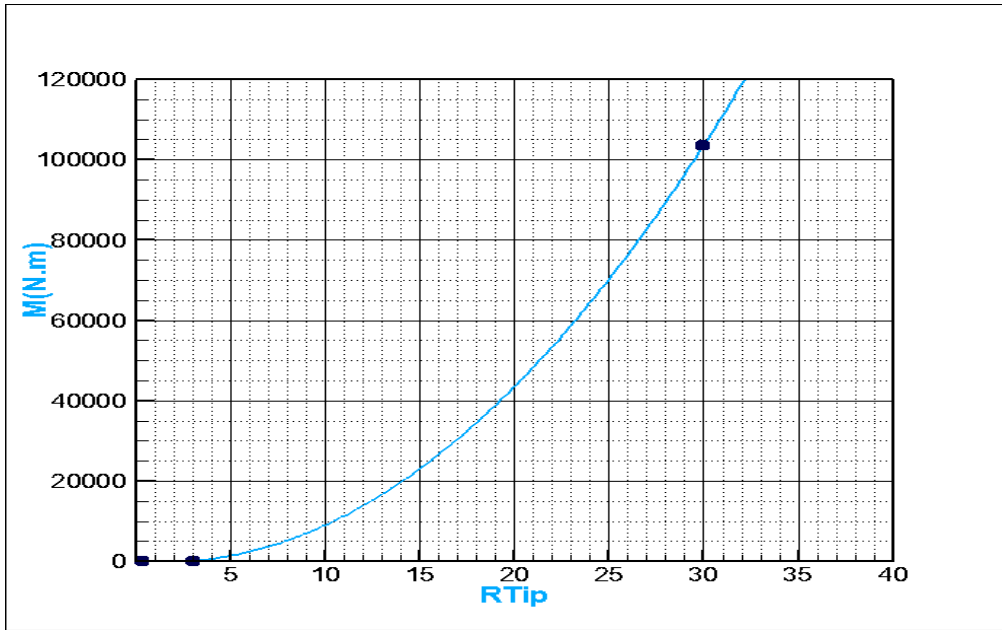
نلاحظ ثبات كل من قيم معامل الإستطاعة C_p ، و معامل قوة الدفع C_T ، و معامل العزم C_m ، و هذا راجع لتشابه العنفات مختلفة الأقطار هندسيا و حركيا و ديناميكيا .



{الشكل 5.4} تأثير نصف قطر العنفة على الإستطاعة



{الشكل 6.4} تأثير نصف قطر العنفة على قوة الدفع



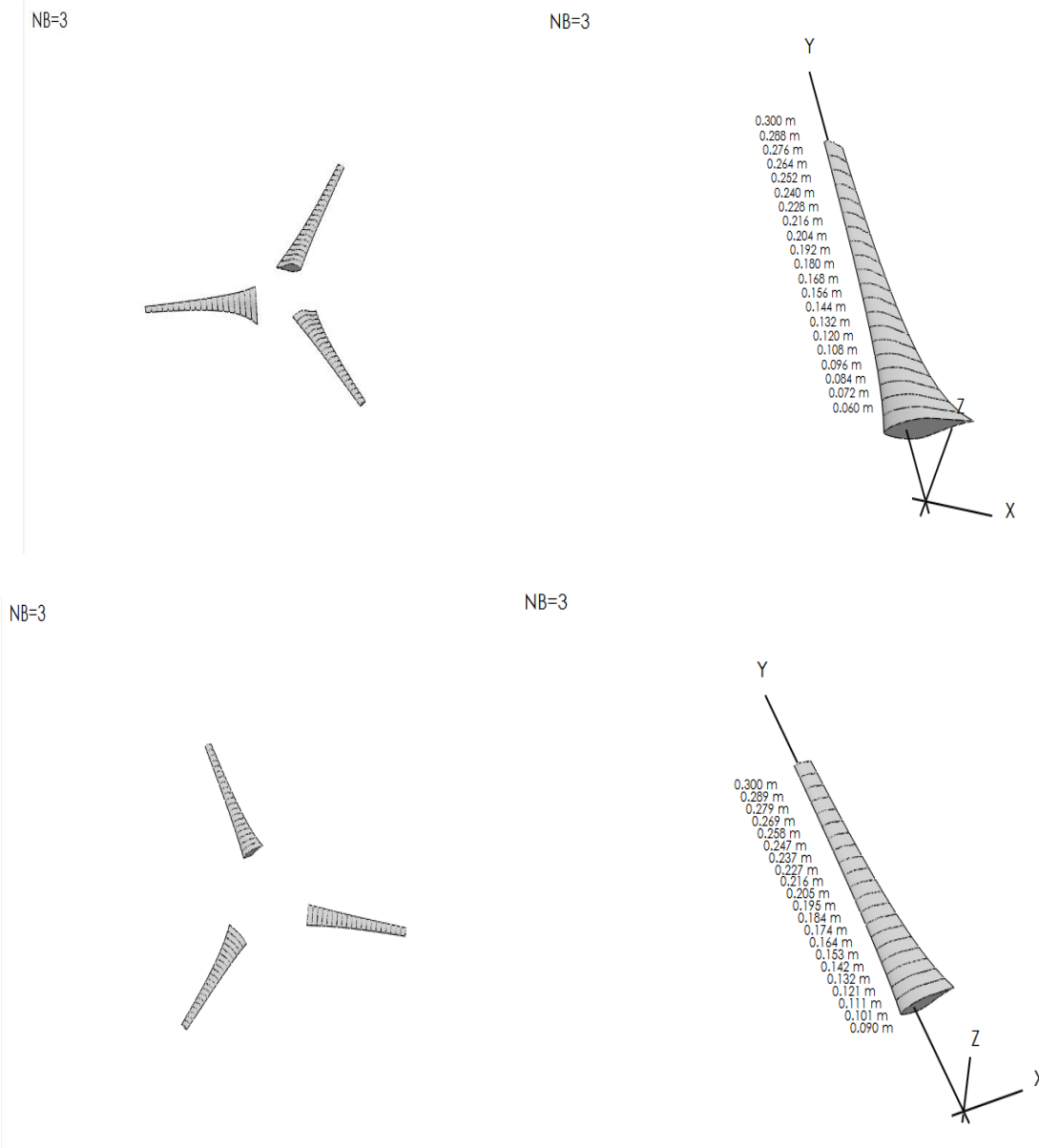
{الشكل 7.4} تأثير نصف قطر العنفة على العزم

تعليق

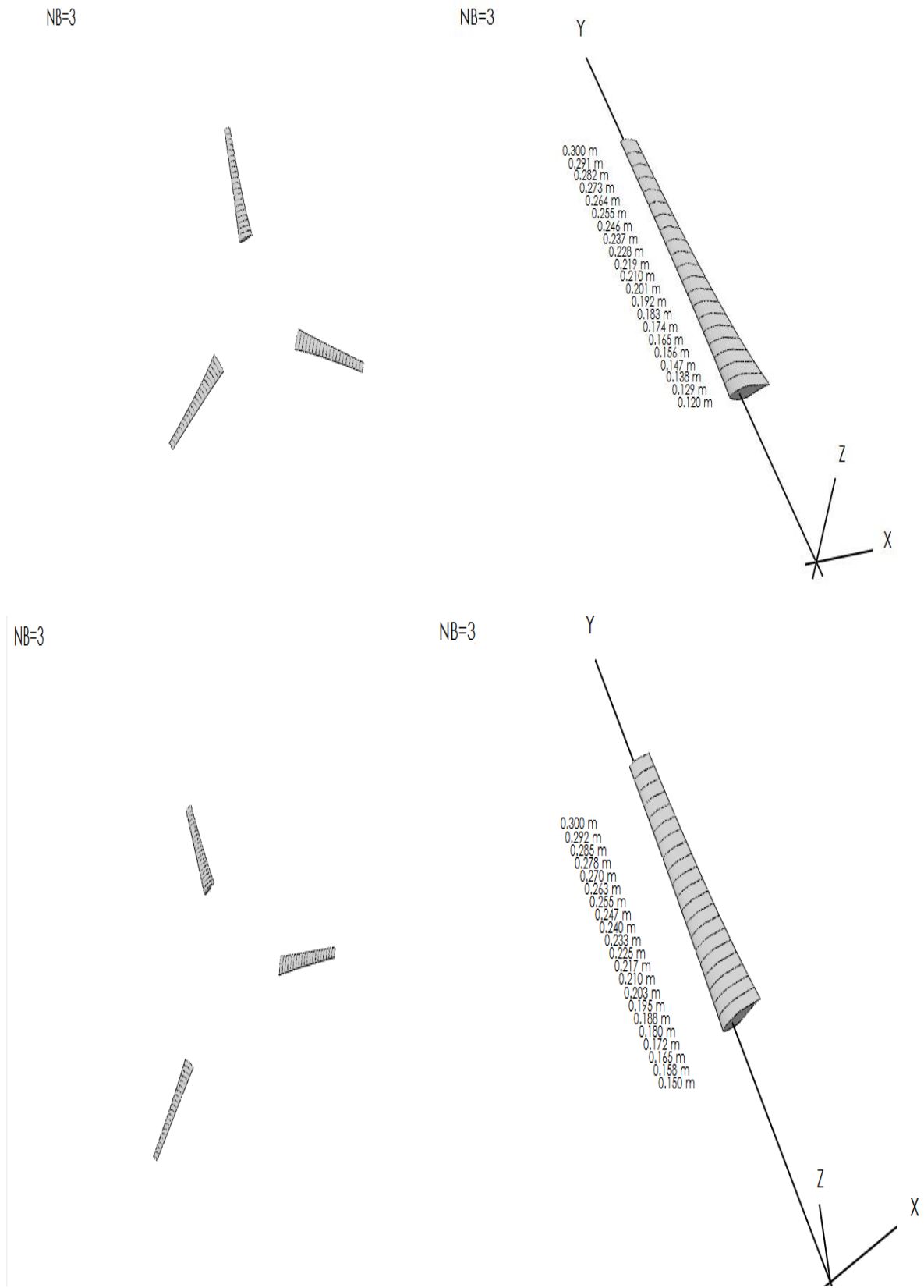
من الملاحظ أن الإستطاعة P و القوة الدفع T و العزم M كل منهما يتزايد بزيادة نصف قطر العنفة RTip و هذه العلاقة منطقية لأن زيادة طول الجناح تستوجب زيادة في هذه العوامل. هذا ما تؤكدته العلاقات التحليلية حيث أن كل من الإستطاعة P وقوة الدفع T يرتبطان بمساحة قرص أي بمربع نصف قطر العنفة أما العزم فيرتبط بمساحة قرص و طول ذراع أي مكعب نصف قطر العنفة .

4.3 دراسة تأثير نصف قطر الجذر R_{hub} :

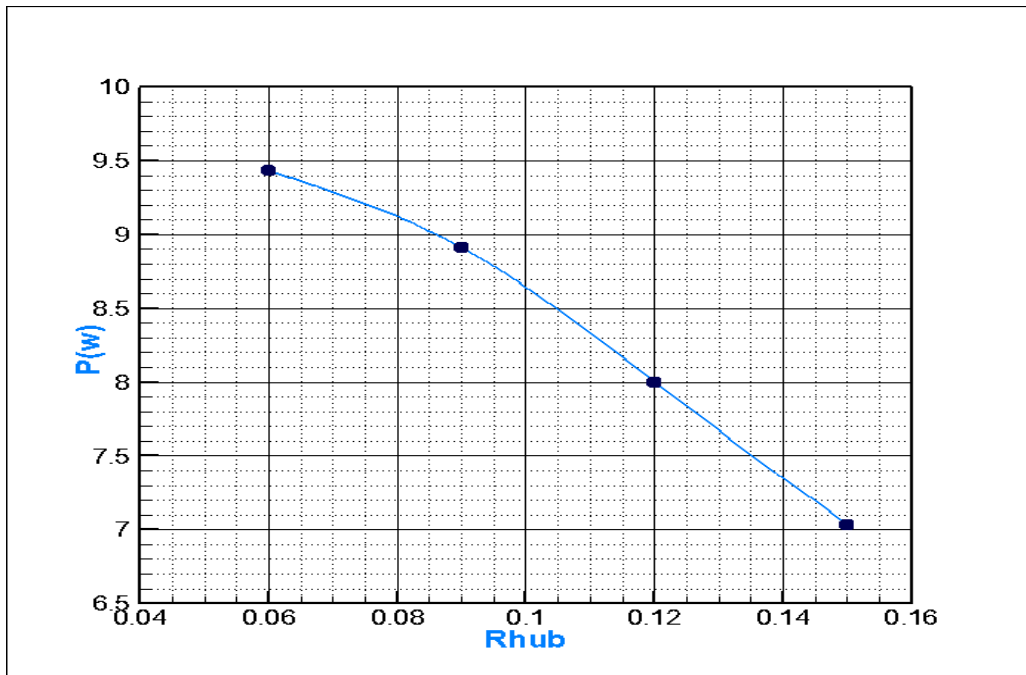
في هذا الجزء سوف نقوم بتثبيت كل من سرعة الهواء $V=5 \text{ m/s}$ و عدد الأجنحة $NB=3$ و سرعة النوعية $\lambda=6$ ، و نصف قطر العنفة $R_{Tip}=0.3$ كما نقوم في كل مرة بتغيير نسبة نصف قطر الجذر على نصف قطر العنفة $htr=20\%$ ، $htr=30\%$ ، $htr=40\%$ ، $htr=50\%$ التي بدورها تعطينا قيم مختلفة لنصف قطر الجذر $R_{hub}=0.06$ ، $R_{hub}=0.09$ ، $R_{hub}=0.12$ ، $R_{hub}=0.15$ نسجل الخصائص الأيروديناميكية (الإستطاعة P ، العزم M ، القوة المحورية T ، معامل الإستطاعة C_p ، معامل العزم C_m ، معامل القوة المحورية C_T).



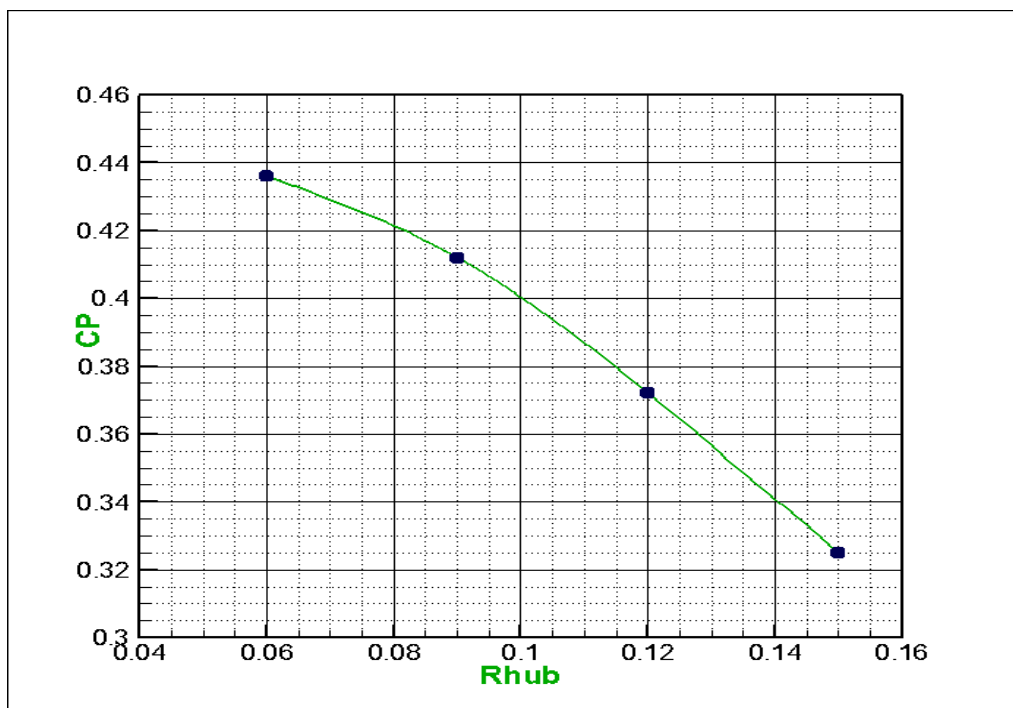
{ الشكل 1.5 تصميم أجنحة بدلالة تغير R_{hub} }



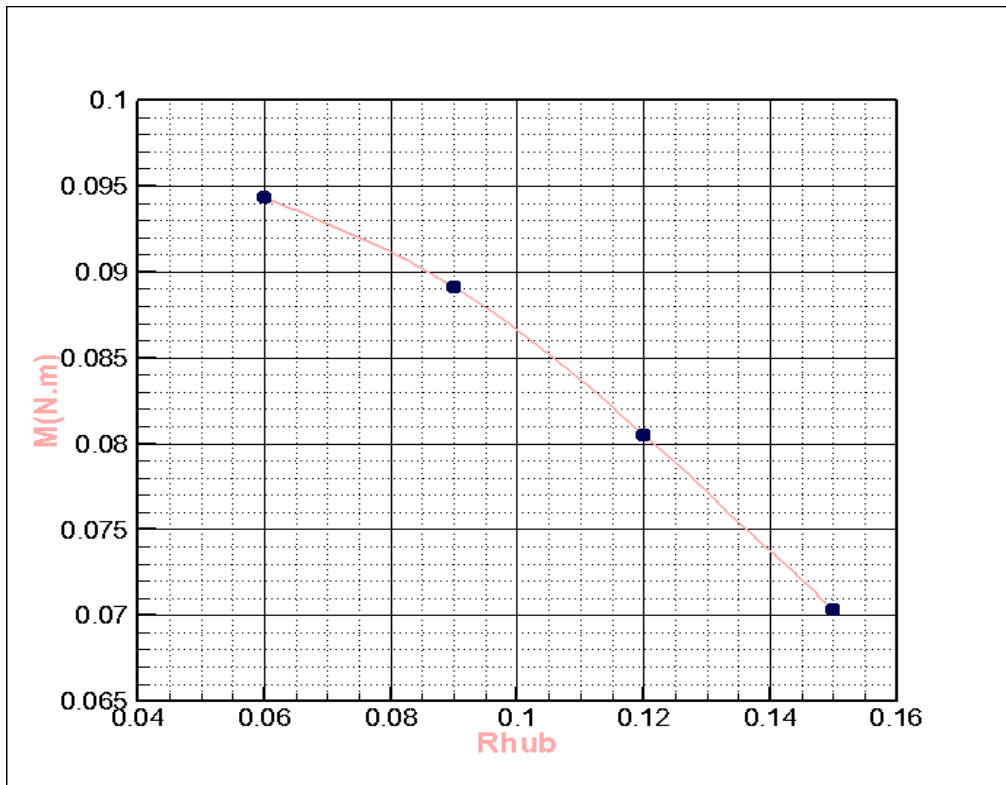
{الشكل 2.5} تصميم أجنحة بدلالة تغير Rhub



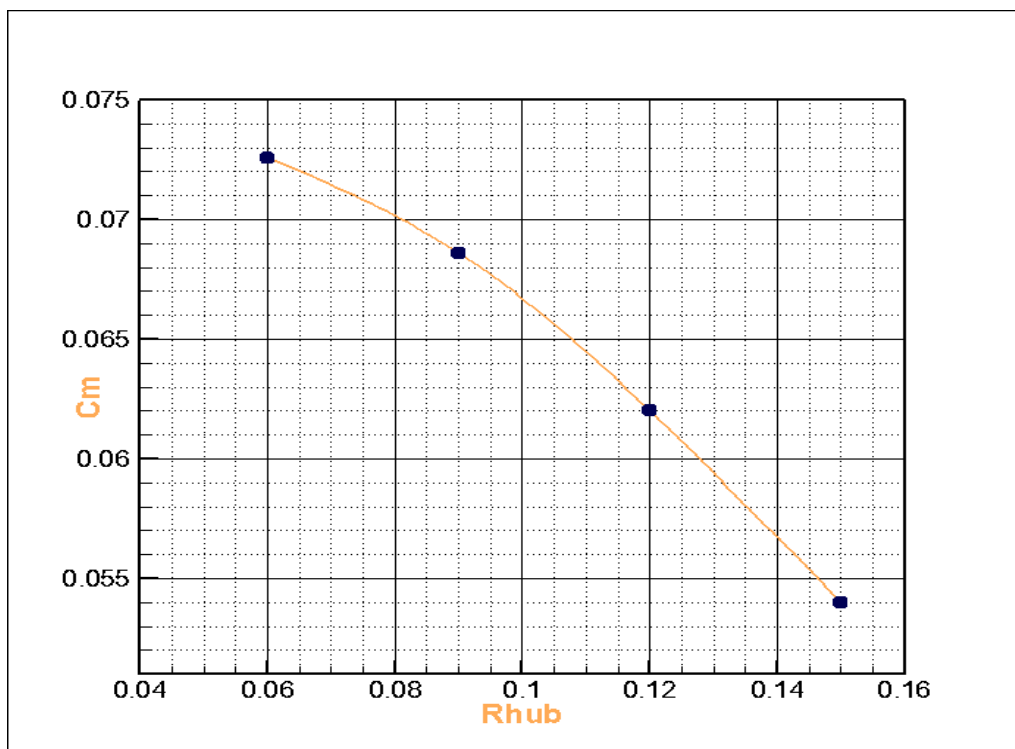
{الشكل 3.5} تأثير نصف قطر الجذر على الإستطاعة



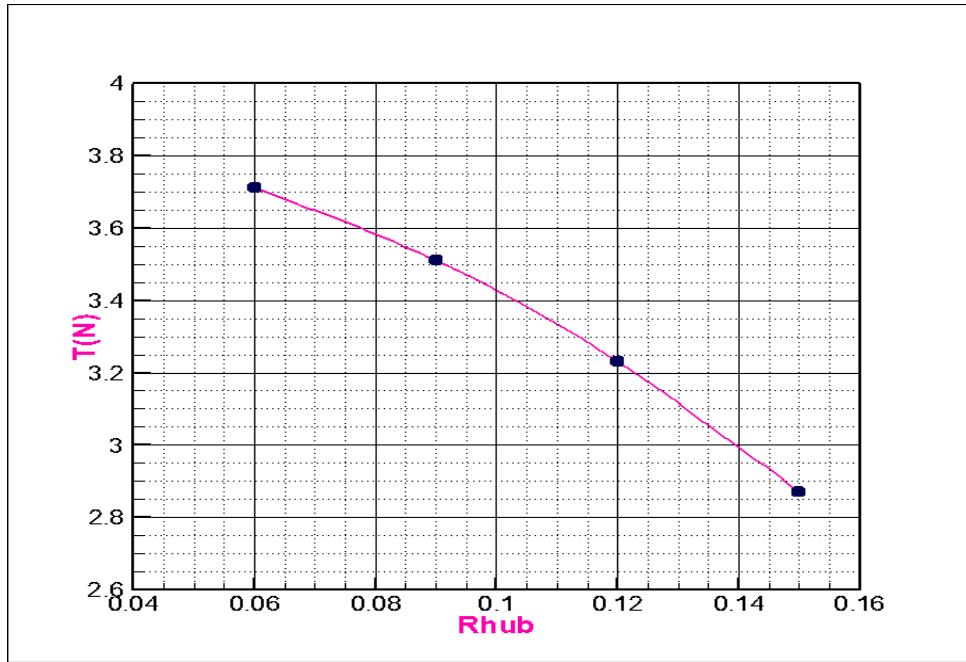
{الشكل 4.5} تأثير نصف قطر الجذر على معامل الإستطاعة



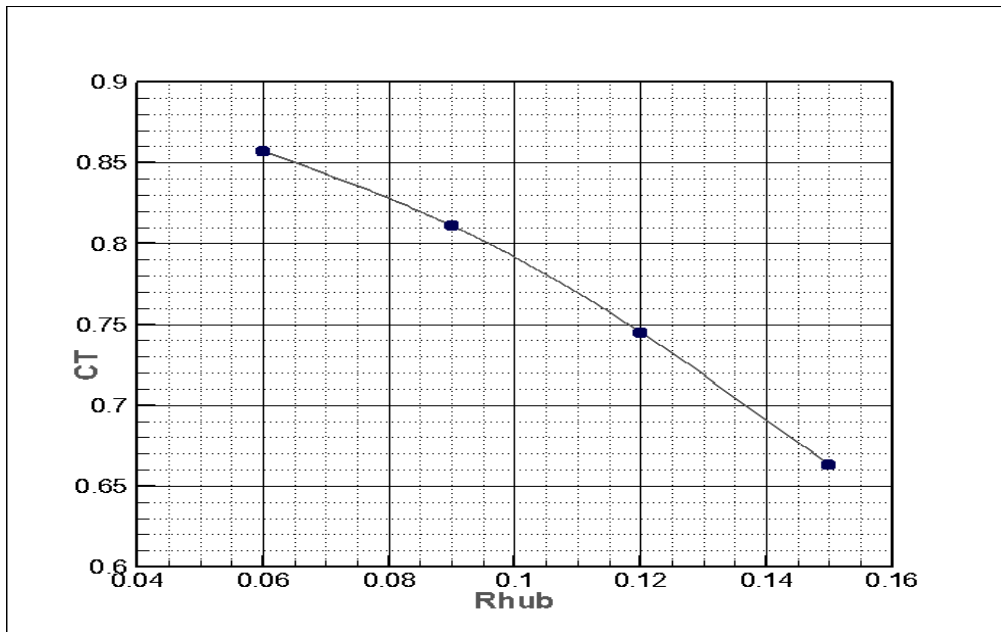
{الشكل 5.5} تأثير نصف قطر الجذر على العزم



{الشكل 6.5} تأثير نصف قطر الجذر على معامل العزم



{الشكل 7.5} تأثير نصف قطر الجذر على قوة الدفع



{الشكل 8.5} تأثير نصف قطر الجذر على معامل قوة الدفع

نلاحظ أن الزيادة في نصف قطر الجذر تؤدي إلى إنقاص في الخصائص الأيروديناميكية (الإستطاعة P ، العزم M ، قوة الدفع T ، معامل الإستطاعة C_p ، معامل العزم C_m ، معامل قوة الدفع C_T) ، و هذا راجع إلى سببين :الأول يتمثل في نقصان طول الجناح .و الثاني لظهور الجريانات الثانوية التي تؤدي إلى إنفصال الطبقة الحدية وتولد دوامات تعمل على تدني كفاءة المقاطع الأيروديناميكية بجوار الجذر.



Conclusion Générale

في هذه المذكرة تمكنا بفضل الله عزوجل من القيام بدراسة مبنية على طريقتي التصميم و التحليل الخاصة بالجانب الأيروديناميكي لعنفة هوائية صغيرة أفقية المحور، قمنا بإستعمال البرنامج المطور بلغة الفورترن HAWT _ BEM الذي يركز على المعادلات التكاملية للإحفاظ و المعادلات الأيروديناميكية بإضافة إلى إحداثيات المقطع الأيروديناميكي المستعمل (S809) و البيانات التجريبية الأيروديناميكية الخاصة به (معامل الرفع و معامل الإعاقة) و ذلك بهدف الحصول على الشكل الهندسي لأجنحة العنفة من خلال حساب كل من زاوية الالتفاف و قيمة الوتر في مختلف المحطات القطرية . أما فيما يخص الطريقة التحليل الأيروديناميكي فقد إعتدنا على برنامج Qblade حيث قمنا بإجراء دراسة و سيطوية أين تم عرض أهم النتائج المتحصل عليها تحت تأثير العوامل المتمثلة في عدد الأجنحة ، سرعة النوعية ، نصف قطر العنفة و نصف قطر الجذر على كل من الإستطاعة ، العزم ، قوة الدفع ، و مختلف المعاملات المرتبطة بها. من خلال النتائج المتحصل عليها توصلنا إلى أن زيادة في عدد الأجنحة يؤدي إلى تحسين جميع الخصائص الأيروديناميكية حيث يصبح تأثير عدد الأجنحة ضعيف بعد قيمة 12. في ما يخص تأثير السرعة النوعية نسجل قيمة حرجة عند $Lamda=6$ ، تحت هذه القيمة لاحظنا أن كل من العزم و الإستطاعة و معامليهما يزيد بزيادة السرعة النوعية و عكس يحدث بعد هذه القيمة ، أما بالنسبة لقوة الدفع و معاملها فإنهما يتزايدان بزيادة السرعة النوعية للهواء على كامل المجال. بالنسبة لتأثير نصف قطر العنفة فإن النتائج تظهر ثبات قيم معاملات الأيروديناميكية للعنفة . كما لاحظنا أن الإستطاعة و العزم و قوة الدفع يتزايدون بزيادة نصف قطر العنفة. أما بالنسبة لتأثير نصف قطر الجذرتوصلنا إلى أن الزيادة في قيمته تؤدي إلى إنقاص كفاءة العنفة .



قائمة المراجع

Bibliographie

[1] سولاراييك (Solarabic) ، « مبدأ عمل طاقة الرياح – Wind Power » ، في 3 يونيو 2019 ،
<https://solarabic.com/learn/2019/06/%D9%85%D8%A8%D8%AF%D8%A3-%D8%B9%D9%85%D9%84-%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%B1%D9%8A%D8%A7%D8%AD/>

[2] Faisal Mahmuddina* «Rotor Blade Performance Analysis with Blade Element Momentum Theory», The 8th International Conference on Applied Energy – ICAE2016.

[3] Chi-Jeng Bai¹• Po-Wei Chen¹• Wei-Cheng Wang^{1,2} « Aerodynamic design and analysis of a 10 kW horizontal-axis wind turbine for Tainan, Taiwan», Received: 11 November 2015 / Accepted: 22 January 2016, _ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016.

[4] Ricardo Luiz Utsch de Freitas Pinto^{a,*}, Bruna Patricia Furtado Goncalves «A revised theoretical analysis of aerodynamic optimization of horizontal-axis wind turbines based on BEM theory », Universidade Federal de Minas Gerais- Departamento de Engenharia Mecanica, Av. Pres. Antonio Carlos, 6627 –Belo Horizonte 31270-901, Brazil.

[5] Nitin Tenguria¹, N.D. Mittal¹, Siraj Ahmed² « Investigation of blade performance of horizontal axis wind turbine based on blade element momentum theory (BEMT) using NACA airfoils » , International Journal of Engineering, Science and Technology Vol. 2, No. 12, 2010, pp. 25-35.

[6] Y. El khchine, M. Sriti « Improved Blade Element Momentum theory (BEM) for Predicting the Aerodynamic Performances of Horizontal Axis Wind Turbine Blade (HAWT)».

[7] Chizhi Zhang¹), Hua-Peng Chen¹),* and Tian-Li Huang²) «Fatigue damage assessment of wind turbine composite blades using corrected blade element momentum theory», *Department of Engineering Science, University of Greenwich, Chatham, Kent ME4 4TB, UK.* *Corresponding author: hp.chen@outlook.com , School of Civil Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410075, China. .

[8] سليمانى إسماعيل ، سدايرية نعمان ، «محاكاة عددية لدوار عنفة هوائية أفقية المحور» .مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر تحت إشراف دكتور مدوكي رمزي ، جامعة تبسة 2017/2016 .

[9] HAMIDREZA ABEDI, « Aerodynamics Loads On Rotor Blades » , abedih@student.chalmers.se Department of Applied Mechanics Division of Fluid Dynamics Chalmers University of Technology G'oteborg, Sweden, 2011, Master's Thesis [2011 : 18] .

[10] Mustafa Alaskari¹, Oday Abdullah^{1,2}, Mahir H. Majeed³ , « Analysis of Wind Turbine Using QBlade Software » , ¹Department of Energy Engineering, University of Baghdad, Baghdad 47024, Iraq ²Hamburg University of Technology, Hamburg 21073, Germany ³Al-Furat Al-Awsat Technical University, Karbala, Iraq

[11] David Marten , « QBlade Short Manual ».

[12] David Marten , « QBlade Guidelines». January 18, 2013

[13] دكتور مدوكي رمزي ، «العنفة الهوائية تصميمها و تحليل أدائها طريقة كمية الحركة _ عنصر الجناح». محاضرة ماستر 1 ، جامعة تبسة 2019/2018 .