

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة العربي التبسي ❖ تبسة ❖

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الهندسة الميكانيكية



مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر الأكاديمي

الشعبة: الهندسة الميكانيكية

التخصص: طاقيات

من إعداد الطالبتين:

عمير دعاء

رابح نسرين

العنوان:

تحليل وتصميم وإنشاء عنفة هوائية صغيرة أفقية المحور باستخدام
الطباعة ثلاثية الأبعاد

Conception, analyse et réalisation d'une
éolienne à axe horizontal à petite échelle
par l'utilisation de l'impression 3D

إشراف الأستاذ:

رمزي مدوكي

أعضاء لجنة المناقشة:

الاسم واللقب	الرتبة العلمية	الصفة
عبد الناصر بلعزيزية	أستاذ التعليم العالي	رئيسا
رمزي مدوكي	أستاذ التعليم العالي	مشرفا ومقررا
رضوان لعور	أستاذ محاضر -ب-	عضوا مناقشا

السنة الجامعية: 2021 – 2022

شكر وعرفان

قال الله تعالى: ﴿لنُشْكِرَنَّهُمْ لَأَزِيدَنَّهُمْ﴾ [سورة إبراهيم الآية (7)].

يقول الرسول صلى الله عليه وسلم: ﴿من لم يشكر الناس لم يشكر الله﴾

أحمد الله جل وعلى حمدا كثيرا طيبا مباركا ملئ السموات والأرض
على ما أكرمني به من تمام هذا الدراسة التي أرجو ان تنال رضا
التقدم بخالص الشكر والتقدير الى الأستاذ المشرف البروفيسور رمزي
مدوكي

بارك الله فيك ونضعنا بك دمت لنا المعلم والأب.

أمي وأبي ان شكرتكما فشكري لن يوفيكما وان منحتكما العالم فهديتي
لن تكفيكما وسائل طيلة حياتي من الحب اعطيكما لما بذلتما

من جهد وما اوتيتما من قوة لتوفير سبل الراحة.

كل الشكر لنفسي على ما تحملت من مشقة الطريق

وتخطيها الايام التي لم تكن قابلة للتخطي.

شكرا لمن هم بجانبني ولما قدموا لي في سنوات دراستي

كنتم خير سند اخوتي واخواتي.

شكرا لكل أساتذة قسم الهندسة الميكانيكة

لما قدموا لنا من رصيد معرفي.

شكرا للدكتور لخضر منصور لما قدمه من نصائح وتوجيهات.

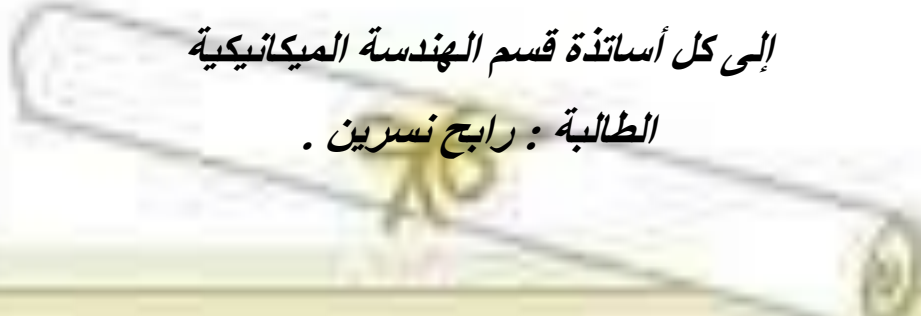
الطالبتين:

-دعاء عمير

-رابع نسرين



الحمد لله الذي وفقنا لتثمين هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية
بمذكرتنا هذه ثمرة الجهد والنجاح
بفضله تعالى لك ياسيدة نساء الكون في عيني التي تركتني
في منتصف الطريق ويا ندى روعي
وبلسمها اهدي تخرجي يا عذبة الروح اليك امي ارفع قبعات
الفخر والعز اليك ايتها الروح الطاهرة
التي ذهبت بلا عوده رحمتك الله واسكنك فسيح جناته والى سندي
وضياء دربي من علمني الاصرار
والمثابرة مصدر الامل والطموح ابي الغالي الى كل اخوتي وأخواتي
حفظهم الله لي عبد الحميد عبد الرحمان حواء آدم خنساء إلياس
إلى رفيقات دربي دعاء نداء عبلة نورس نور وكل من
تعرفت عليهم في مسيرتي الدراسية
إلى البروفيسور مدوكي رمزي الذي ساعدنا في هذه المذكرة
إلى كل أساتذة قسم الهندسة الميكانيكية
الطالبة : رابع نسرين .



الإهداء:

الحمد لله وكفى والصلاة على الحبيب المصطفى وأهله أما بعد:

الحمد لله الذي وفقنا لتتميم في مسيرتنا الدراسية بمذكرتنا

هذه ثمرة الجهد والنجاح بفضلته تعالى.

أهدي هذا العمل إلى كل طالب علم يسعى لكسب المعرفة وتزويد رصيده

المعرفي، العلمي والثقافي .

إلى أعز ما أملك في الوجود، إلى من منحني الحنان، الحب والقوة

بدعواتها أُمِّي العزيزة والغالية.

إلى من علمني أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة إلى الذي

لم يبخل علي بأي شيء إلى من سعى لأجل راحتي ونجاحي إلى أعظم وأعز

رجل في الكون أبي العزيز.

إلى كل إخواني وأختي: عبد السميع، منذر، معاذ، سهيلة.

إلى كل زميلاتي وزملائي في الدراسة:

نسرين، عملة، نورس، نداء، معاذ...

إلى الدكتور رمزي مدوكي الذي كان الأب والأخ لنا

وإلى الأستاذ بكاي رياض الذي ساندني في النصائح والتوجيهات .

وإلى كل ما ساندني في إنجاز هذا العمل.

إلى كل قسم الهندسة الميكانيكية

وجميع دفعة 2022 جامعة العربي الشبسي.

الطالبة : دعاء عمير .

الملخص :

تتضمن هذه المذكرة دراسة لعنفة هوائية صغيرة ذات محور أفقي (HAWT) خاصة بتوليد الطاقة الكهربائية توضع على أسطح العمارات حيث قمنا أولاً بدراسة إحصائية لتقييم طاقة الرياح باستعمال توزيع وايبل لاستخراج متوسط السرعة و الاستطاعة المناسبة . هذا الأخير يقودنا الى تصميم العجلة الخاصة بالعنفة الهوائية من خلال معرفة توزيع الوتر وزاوية الالتفاف اعتماداً على طريقة عنصر الجناح-كمية الحركة .بعد ذلك تم تحليل أداء العنفة ورصد كفاءتها على مجال السرعة المدروس .وكمرحلة رابعة تم إنشاء العنفة الهوائية بإستعمال البرنامج المصمم صوليد وركس مستعينا بالطابعة ثلاثية الأبعاد ومختلف الأجهزة لتجسيد هذا المشروع .

الكلمات المفتاحية : العنفة الهوائية , توزيع وايبل, عنصر الجناح-كمية الحركة , برنامج الصوليد وركس , الطابعة ثلاثية الأبعاد.

Résumé:

Cette note comprend une étude d'une petite turbine à air à axe horizontal (HAWT) pour la production d'électricité placée sur les toits de la copropriété, où nous avons d'abord mené une étude statistique pour évaluer l'énergie éolienne en utilisant la distribution de Weibull pour extraire la vitesse moyenne et la capacité appropriée. Ce dernier nous amène à concevoir la roue de la turbine à air en connaissant la répartition de la chord et l'angle de vrillage, selon la méthode de l'élément d'aile-quantité de mouvement. Par la suite, la performance de la turbine a été analysée et son efficacité a été surveillée dans le domaine de la vitesse étudiée. En quatrième étape, la turbine à air a été créée à l'aide du logiciel conçu par Solidworks à l'aide d'une imprimante 3D et de divers appareils pour incarner ce projet.

Les Mots-clés : éolienne, distribution de Weibull, élément d'aile – momentum, programme Solidworks, imprimante 3D.

Summary:

This note includes a study of a small horizontal axis air turbine (HAWT) for electrical power generation placed on the rooftops of the condominium, where we first conducted a statistical study to assess wind energy using the distribution of Weibull to extract average speed and appropriate ability. The latter leads us to design the wheel of the air turbine by knowing the distribution of the corde and the twist , depending on the method of the wing element–amount of movement. Thereafter, the performance of the turbine was analyzed, and its efficiency was monitored in the field of studied speed. As a fourth stage, the air turbine was created using the software designed by Solidworks using a 3D printer and various devices to embody this project.

Key words: wind turbine, Weibull distribution, wing element – momentum, Solidworks program, 3D printer.

الفهرسة



رقم الصفحة	العنوان
	شكر وعرفان
	الفهرس
	فهرس الأشكال
أب	مقدمة.....
الفصل الأول: عموميات حول العنفات الهوائية	
02	1-1 المقدمة.....
02	2-1 تاريخ طاقة الرياح.....
03	3-1 تعريف طاقة الرياح وتشكيلها.....
05	4-1 مكانة طاقة الرياح في العالم.....
06	5-1 امكانات طاقة الرياح في الجزائر.....
08	6-1 أجهزة قياس الرياح.....
09	7-1 العنفات الهوائية.....
09	8-1 أنواع العنفات الهوائية.....
15	9-1 عوامل تصنيف العنفات الهوائية.....
الفصل الثاني: توزيع ويبيل *weibull distribution*	

19	..... المقدمة 1.2
19	..... التحليل الإحصائي لبيانات الرياح 2.2
20	..... المتوسط الحسابي (mean) 3.2
20	..... الوسيط (Mediator) 4.2
20	..... التباين (Variance) 5.2
21	..... الانحراف المعياري (standard deviation) 6.2
21	..... توزيع تردد سرعة الرياح 7.2
21	..... توزيع ويبل Weibull 8.2
25	..... تصميم سرعة الرياح وسرعة الرياح المقدرة 9.2

الفصل الثالث: أيروديناميكية العنفات الهوائية

29	..... المقدمة 1.3
29	..... تعريف الزوايا حول الزوايا 3.2
30	..... الخصائص الهندسية لمقطع الجناح 3.3
31	..... أنواع المقاطع الأيروديناميكية المستعملة في جناح العنفة الهوائية 4.3
32	..... الخصائص الديناميكية الهوائية لجنيح العنفة الهوائية 5.3
34	..... تشكل الأثر الذيلي للعنفة 6.3
35	..... تسمية الأجنحة 7.3
36	..... عائلات مقاطع الأجنحة المستعملة في العنفة الهوائية 8.3

الفصل الرابع: طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة

42	..... المقدمة 1.4
42	..... طريقة عنصر الجناح - كمية الحركة 2.4
65	..... تحديد المعادلات الهندسية لجناح عنفة الرياح 3.4
71	..... حساب الاستطاعة المنتجة من الجناح 4.4

الفصل الخامس: المولدات والأبراج الخاصة بالعنفة الهوائية

77	.....المقدمة	1.5
77	.....المولد الكهربائي	2.5
77	.....مبدأ عمل المولد الكهربائي	3.5
78	.....أنواع المولدات الكهربائية	4.5
80	.....أجزاء المولد الكهربائي	5.5
80	.....اختيار المولد	6.5
82	.....البرج Towers	7.5
82	.....أنواع أبراج العنقات الهوائية	8.5

الفصل السادس: صناعة وجسب العنقة الهوائية أنقى المحور

89	.....المقدمة	1.6
91	.....الأجهزة المستعملة	2.6
96	.....إنشاء العنقة	3.6
101	.....خاتمة	
104	.....الملاحق	
109	.....قائمة المراجع	

فهرسه

الأشكال



فهرس الأشكال

رقم الصفحة	العنوان	رقم الشكل
03	تطوير طاقة الرياح حول العالم.	الشكل رقم (01)
03	تحويل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة كهربائية.	الشكل رقم (02)
04	تأثير قوة كوريوليس على اتجاه الرياح Coriolis	الشكل رقم (03)
05	عنفات الرياح Grand Vent 100 kW.	الشكل رقم (04)
07	أطلس رياح الجزائر	الشكل رقم (05)
08	دوارة الرياح (Girouette)	الشكل رقم (06)
09	الأنيموميتر.	الشكل رقم (07)
11	عنفات هوائية ذات المحور الأفقي	الشكل رقم (08)
12	عنفة هوائية نوع داريوخ Darrieus.	الشكل رقم (09)
12	عنفة هوائية نوع سافونيوس Savonius.	الشكل رقم (10)
13	مكونات العنفة الهوائية	الشكل رقم (11)
17	معامل الاستطاعة C_p بدلالة λ .	الشكل رقم (12)
22	تأثير قيم معامل k على شكل التوزيعات	الشكل رقم (13)
28	منحنى دالة كثافة الاحتمال بدلالة متوسط السرعة.	الشكل رقم (14)
30	تحديد الزوايا على الجناح.	الشكل رقم (15)
32	الخصائص الهندسية لمقطع الجناح.	الشكل رقم (16)
33	أنواع المقاطع الايروديناميكية المستعملة في جناح العنفة الهوائية.	الشكل رقم (17)
34	القوى المؤثرة على الجنيح.	الشكل رقم (18)
35	توزيع الضغط باستعمال C_p .	الشكل رقم (19)
36	ظاهرة تشكل الأثر الذيلي للعنفة	الشكل رقم (20)
37	موضع أكبر تحدب وأكبر سمك.	الشكل رقم (21)
38	سلسلة مقاطع الأجنحة FFA- W 1 -xxx.	الشكل رقم (22)
39	سلسلة مقاطع الأجنحة FFA- W 2 -xxx.	الشكل رقم (23)

فهرس الأشكال

39	سلسلة مقاطع الأجنحة FFA- W 3 -xxx	الشكل رقم (24)
40	سلسلة مقاطع الأجنحة .Risø - A1 -xxx	الشكل رقم (25)
41	يمثل مقطع جناح DU xx-W- xxx	الشكل رقم (26)
41	مقطع الجناح FX66-S196-V1	الشكل رقم (27)
44	المقطع الطولي لأنبوب التيار	الشكل رقم (28)
45	سلوك الضغط والسرعة المحورية	الشكل رقم (29)
47	حجم المراقبة	الشكل رقم (30)
48	القوى المطبقة على حجم المراقبة	الشكل رقم (31)
54	تغيير معامل C_p و C_T ب a	الشكل رقم (32)
55	دوار العنفة الهوائية	الشكل رقم (33)
58	عنصر الجناح ومركبات السرعة	الشكل رقم (34)
58	تقسيم الجناح إلى قطع مع إبراز حلقة وهمية تكونها هذه القطعة عند دوران الجناح.	الشكل رقم (35)
59	إدراج مركبات السرعة التحريضية ضمن مثلث السرعة	الشكل رقم (36)
66	نموذج عنصر الجناح.	الشكل رقم (37)
70	توزيع زاوية الالتفاف المثالية على طول الجناح للمقطع الأيروديناميكي SD8000-089-88	الشكل رقم (38)
71	توزيع الوتر المثالي على طول الجناح للمقطع الأيروديناميكي SD8000-089-88.	الشكل رقم (39)
72	منحنى معامل الاستطاعة بدلالة السرعة النسبية.	الشكل رقم (40)
75	منحنى الاستطاعة بدلالة السرعة.	الشكل رقم (41)
81	مولد المغناطيس الدائم (PMG) GL-PMG-500A	الشكل رقم (42)
81	مولد المغناطيس الدائم (PMG) GL-PMG-1000A	الشكل رقم (43)
81	المعدل المستخدم لتحويل طاقة التيار المتردد إلى طاقة تيار مستمر للعنفة الهوائية الصغيرة	الشكل رقم (44)
82	محول طاقة يستخدم لتحويل طاقة التيار المستمر المصححة إلى طاقة التيار المتردد المطابقة لتردد الشبكة	الشكل رقم (45)

فهرس الأشكال

83	عينة برج شعرية.	الشكل رقم (46)
84	برج أسطواني فولاذي	الشكل رقم (47)
85	الأبراج الخرسانية لعنفات الهوائية.	الشكل رقم (48)
86	عملية التجميع للبرج الهجين.	الشكل رقم (49)
87	عنفة هوائية فوق الاسطح.	الشكل رقم (50)
89	المتقاب الكهربائي.	الشكل رقم (51)
90	الطاحونة الزاوية.	الشكل رقم (52)
91	الطابعة ثلاثية الأبعاد	الشكل رقم (53)
91	واجهة برنامج SolidWorks.	الشكل رقم (54)
92	مقطع ايروديناميكي من صنف SD8000-089-88.	الشكل رقم (55)
93	توزيع الوتر وزاوية الالتفاف على طول المحطات القطرية	الشكل رقم (56)
93	تغير زاوية الالتفاف وطول الوتر لجناح عنفة الرياح في الفضاء.	الشكل رقم (57)
94	ربط المقاطع لتشكيل الجناح.	الشكل رقم (58)
94	ربط الجناح بالجزر.	الشكل رقم (59)
95	الشكل النهائي للجناح بطول 0.5 متر	الشكل رقم (60)
95	طباعة الجناح	الشكل رقم (61)
96	الشكل النهائي للجناح	الشكل رقم (62)
97	تحضير الأرضية الخرسانية	الشكل رقم (63)
97	القطع المعدنية.	الشكل رقم (64)
98	تحضير القطع.	الشكل رقم (65)
98	مراحل إنجاز الحامل	الشكل رقم (66)
98	البرج.	الشكل رقم (67)
99	قالب الذيل	الشكل رقم (68)
99	مراحل إنشاء الذيل	الشكل رقم (69)
99	الشكل النهائي للذيل	الشكل رقم (70)

فهرس الأشكال

100	الدوار.	الشكل رقم (71)
100	الشكل النهائي للعنفة الهوائية.	الشكل رقم (72)

قائمة

الدرعوز



قائمة الرموز

الرمز	معناه	وحدته
C_p	معامل الاستطاعة	[-]
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	[-]
α'	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]
$d.M$	العزم العنصري	[N. m]
N_B	عدد الأجنحة	[-]
dr	سمك حلقة عنصرية نصف قطرها	[m]
p	الاستطاعة	[W]

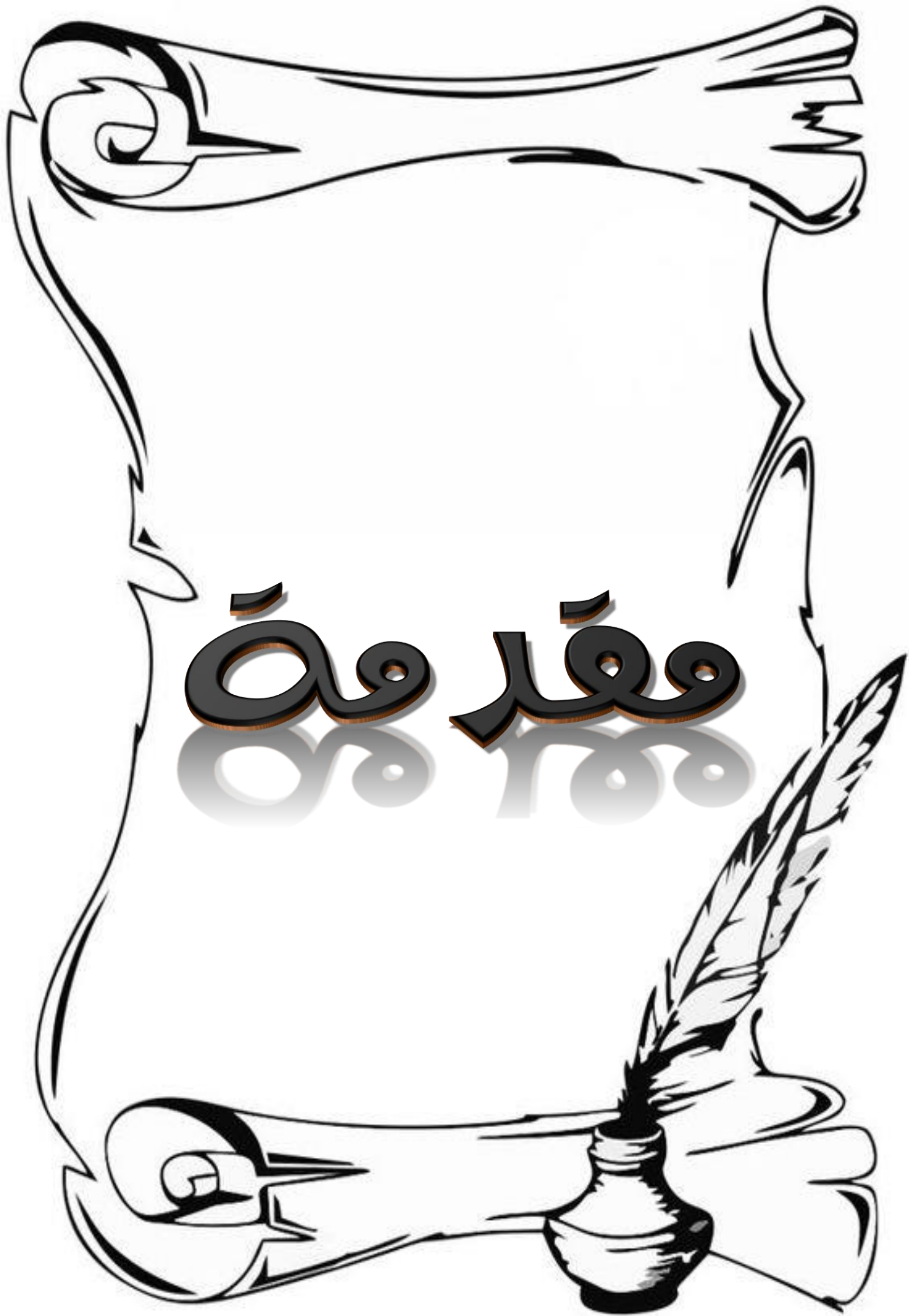
قائمة الرموز

[N]	قوة رد الفعل (الدفع)	T
[-]	معامل الصلابة الموضعية	σ
[-]	معامل التصحيح لبرانت	f
[m]	نصف قطر عند حلقة عنصرية	r
[-]	عدد ما ك	M
[Kg/s]	الدفق الكتلي	\dot{m}
[W]	طاقة النظام	E_S
[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

قائمة الرموز

[–]	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 T i p
[m]	نصف قطر الجذر	R h u b
[–]	نسبة نصف قطر الجذر على نصف قطر العنفة	h t r
(m/s)	معامل المقياس	c
[–]	معامل الشكل	k

مقدمة



أخذت مصادر الطاقة المتجددة في العالم تحظى بأهمية كبيرة لنظافتها وقلة اثارها السلبية على البيئة فضلا عن كونها مصدرا متجددا ، كما أن زيادة الطلب على مصادر الطاقة الاحفورية (الفحم ، النفط ، الغاز الطبيعي واليورانيوم) في أنحاء العالم سبب تفاقم مشكلة الاحتباس الحراري والتغير في المناخ كان ذلك عامل مهم لاستثمار مصادر الطاقة المتجددة ومنها طاقة الرياح .حيث ظهرت استعمالاتها منذ أمد بعيد من خلال أصحاب الزوارق الشراعية ثم انتقلت الى الطواحين الهوائية في العديد من دول العالم التي شهدت النهضة الصناعية في القرن الثامن عشر ، ثم تطورت بشكل كبير من الناحية التكنولوجية وأخذت تولد الطاقة الكهربائية عن طريق العنفات الهوائية التي تقوم بامتصاص الطاقة الحركية من الرياح وتحويلها الى طاقة ميكانيكية دورانية من ثم الى طاقة كهربائية ، حتى أن بعض الدول أصبحت تستهلك الطاقة الكهربائية المعتمدة على طاقة الرياح بنسب عالية (الدنمارك %42 من مجمل طاقتها من مصدر الرياح) وهذه الطاقة يوما بعد يوم يكون لها شأن كبير بين مصادر الطاقة الدائمة وغير الدائمة وخاصة بعد ارتفاع أصوات التقليل من حدة ثاني أكسيد الكربون وإنشاء المدن الخضراء عبر دول العالم .

يهدف عمل هذه المذكرة الى دراسة عنفة هوائية صغيرة افقية المحور وكيفية تصميمها وتحليل أدائها وإنشائها، حيث تتمثل دراستنا في وصف النظريات الديناميكية الهوائية للعنفات ذات المحور الافقي وتقديم مبدأ عمل الرياح حول الجناح لتحسين حجمه والوصول الى تصميم الشكل الأمثل لها.

لبدأ هذه الدراسة قمنا بتقسيم هذا العمل الى فصول ملخصة كالتالي:

✚ **الفصل الأول:** سيتضمن هذا الفصل المفاهيم الأساسية لطاقة الرياح ولمحة تاريخية موجزة عنه وكيفية استخراج الطاقة الكهربائية منها بواسطة العنفات الهوائية وأيضا عرض مكوناتها وذكر نوعها حسب محورها عمودية وافقية المحور التي نركز دراستنا عليه.

✚ **الفصل الثاني:** في هذا الفصل تطرقنا الى دراسة بعض المفاهيم الإحصائية والتخصص في توزيع وايبل وكتابة برنامج بلغة الفورتران لحساب متوسط سرعة الرياح لولاية ورقلة لاستخدامها في التصميم.

الفصل الثالث: في هذا الفصل قمنا بتحليل القوى الايروديناميكية على الجناح والتعرف على مختلف الخصائص الهندسية له مع ذكر مختلف أنواع المقاطع المستعملة في اجنحة العنفات واختيار نوع مقطع الجناح المستخدم في الدراسة.

الفصل الرابع: هنا قمنا بشرح مختلف الظواهر الطاقوية والايروديناميكية الواقعة على مستوى جناح العنفة الهوائية واستعمال طريقة عنصر الجناح -كمية الحركة (BEM) وذلك بإنشاء برنامج بلغة الفورتران يقوم بحساب الخصائص الهندسية للجناح وحساب الخصائص الايروديناميكية أيضا.

الفصل الخامس: تم ذكر المولدات والأبراج الخاصة بالعنفة الهوائية.

الفصل السادس: في هذا الفصل قمنا بإنشاء وصناعة العنفة الهوائية المستهدفة في هذه المذكرة حيث قمنا بالاعتماد على البرنامج المصمم صوليد وركس والطابعة ثلاثية الابعاد كأداتين رئيسيتين فيه.

الفصل الأول

عموميات حول

العنفات

الهوائية



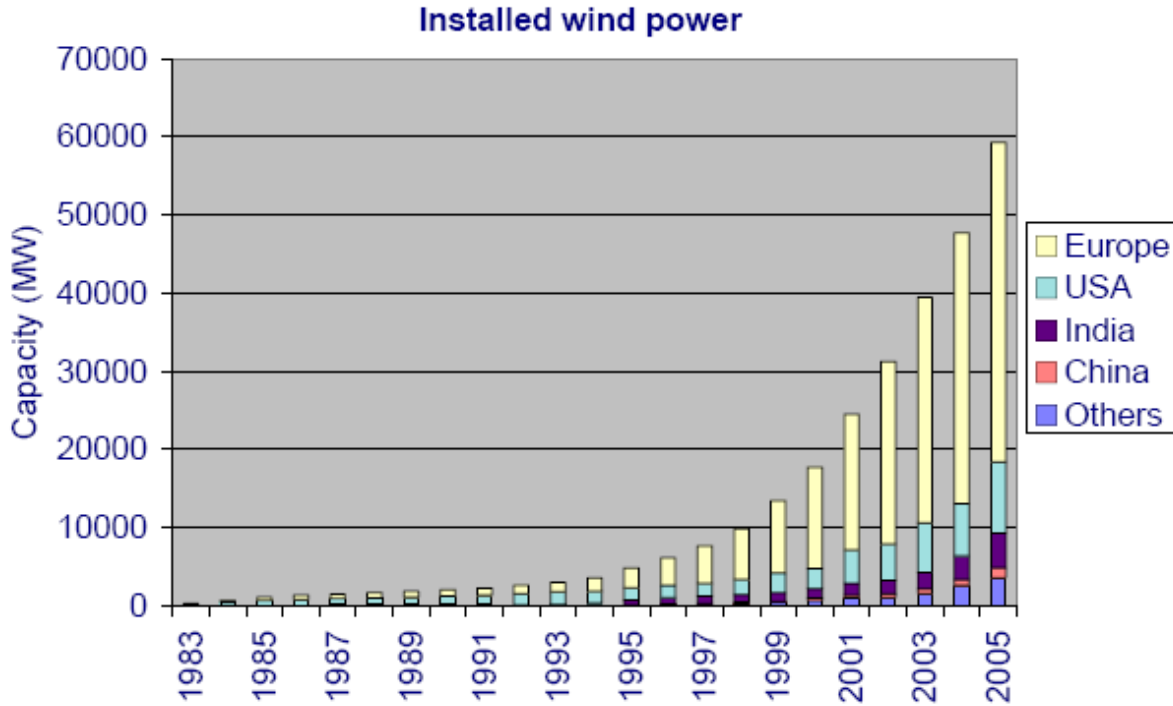
1-1 المقدمة:

إن النمو المستمر لاستهلاك الطاقة بجميع أشكالها والآثار الملوثة المرتبطة بها، والناجمة بشكل رئيسي عن احتراق الوقود الأحفوري، هي في صميم قضية التنمية المستدامة والعناية بالبيئة في مناقشة لمستقبل الكوكب. اليوم بدأ العالم كله يدرك أهمية الطاقات المتجددة التي أصبحت أولوية للمستقبل، لأنها طاقات نظيفة لا تنضب ومتوفرة في كل وقت. إنها توفر إمكانية إنتاج كهرباء نظيفة وقبل كل شيء مع اعتماد أقل على الموارد، الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة المائية والحرارية الأرضية والبحرية وطاقة الكتلة الحيوية هي مصادر الطاقة المتجددة المعروفة اليوم، واحدة من هذه هي طاقة الرياح التي تولدها الرياح من الاضطرابات الناجمة عن التسخين الغير المنتظم للغلاف الجوي عن طريق الحرارة الشمسية. اليوم معظم عنفات الرياح عبارة عن أنظمة توليد طاقة صناعية كبيرة، وهي عبارة عن مجمعات شبكية تنتج الكهرباء مباشرة من الرياح.

2-1 تاريخ طاقة الرياح:

كانت طاقة الرياح مصدراً للطاقة تم استخدامها لعدة قرون. بالإضافة إلى تسخيرها في البحر لتحريك القوارب إلى الأمام، فقد تم تسخير هذا النوع من الطاقة على الأرض على مدى 3000 عام على الأقل [1] في الواقع، كانت طواحين الهواء ذات المحور الأفقي تستخدم بالفعل في المرتفعات الأفغانية منذ 7 قرون قبل الميلاد لطحن الحبوب وهكذا في البداية، تم تحويل الطاقة الحركية للرياح فقط إلى طاقة ميكانيكية. في عام 1891، بنى Dane Poul Lacour لأول مرة عنفات الرياح لتوليد الكهرباء منذ ذلك الحين، تطورت تكنولوجيا عنفات الرياح بشكل واضح. وقد مكن هذا طاقة الرياح من أن [2] تصبح بديلاً لمصادر الطاقة التقليدية في السنوات الأخيرة. على الرغم من وصول عنفات الرياح إلى مرحلة نضج تقني معينة، إلا أنها لا تزال تتمتع بهامش كبير من التقدم التكنولوجي. ليس هناك شك في أن عنفات الرياح لا تزال تتطور، وللبحث دور مهم يلعبه في هذا الاتجاه. أحدث جيل من عنفات الرياح هي العنفات التي تعمل بسرعات متغيرة. يزيد هذا النوع من العمليات من كفاءة الطاقة ويقلل الأحمال الميكانيكية ويحسن جودة الطاقة الكهربائية المنتجة، مقارنة مع عنفات الرياح ثابتة السرعة. هذه هي خوارزميات التحكم التي تجعل من الممكن التحكم في سرعة دوران عنفات الرياح في جميع الأوقات. طاقة الرياح هي المصدر الأكثر موثوقية للطاقة المتجددة: تمتلك عنفات

الرياح معدل توافر ما يزيد عن 98٪، ويوضح الشكل 1 تطور طاقة الرياح المثبتة في الدول الرئيسية في السنوات الأخيرة.



الشكل (01): تطوير طاقة الرياح حول العالم.

3-1 تعريف طاقة الرياح وتشكيلها:

1-3-1 تعريف طاقة الرياح: [2]

وهي الطاقة التي يتم تحويلها من الطاقة الحركية المحمولة من الرياح بواسطة العنفة لإنتاج الطاقة الكهربائية كما هو موضح في الشكل 2، حيث تعتبر من أنواع الطاقة الكهروميكانيكية. هذه الطاقة المتجددة هي أيضاً طاقة خضراء لأنها لا تنتج انبعاثات في الغلاف الجوي ولا نفايات مشعة.



الشكل (02): تحويل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة كهربائية.

الهواء الذي يتكون منه الغلاف الجوي هو خليط من الغازات والجسيمات الصلبة أو السائلة. تكوينه ثابت نسبياً حتى ارتفاع أقل من 100 كيلومتر ويتكون أساساً من النيتروجين والأكسجين. تقع كل كتلته تقريباً على ارتفاع أقل من 16 كلم، في طبقات الغلاف الجوي السفلى [3]. ضمن هذه الطبقات، إزاحة الكتل الهوائية، التي تسمى الرياح ليست سوى نتيجة موازنة مجموعة من القوى التي هي:

أ- **قوة الجاذبية:** نتيجة التجاذب المتبادل للأجسام، تتدخل هذه القوة بسبب الكتلة الكبيرة للأرض، حيث أنه موجه نحو مركز الأرض.

ب- **قوى الضغط:** تتولد هذه القوى من إزاحة للكتل الهوائية المكونة للرياح حيث أنها تأتي من اختلافات الضغط المحلية بسبب الاختلافات في درجات الحرارة وفقاً لخط العرض، ومن التأثيرات القارية والمحيطية.

ج- **قوة كوريوليس:** ترتبط هذه القوة بدوران الأرض على محورها. وهي متعامدة مع سرعة الرياح وموجهة نحو الشرق في نصف الكرة الشمالي. [4].



الشكل (03): تأثير قوة كوريوليس على اتجاه الرياح Coriolis

د- قوى الاحتكاك: تعكس هذه القوى الاحتكاك المضطرب للهواء على الأرض وتطبق بشكل عام على حركات الهواء الموجودة في الغلاف الجوي والرياح ناتجة عن الاختلافات في الضغط الجوي الناتجة بشكل رئيسي عن تدرجات درجة الحرارة.

1-4 مكانة طاقة الرياح في العالم:

وفقاً للأرقام التي نشرتها الرابطة العالمية لطاقة الرياح (WWEA)، نمت طاقة الرياح في العالم بمقدار 97.3 جيجاوات (جيجاوات) في عام 2021. بعد الزيادة البالغة 92.7 جيجاوات المسجلة في عام 2020، يعد هذا رقماً قياسياً جديداً للنمو. تتجاوز القدرة التراكمية لجميع العنفات الهوائية المستخدمة على كوكبنا الآن 840 جيجاوات. القدرة التي تسمح لهم بتزويد أكثر من 7٪ من استهلاك الكهرباء في العالم منذ عام 2014 أظهر القطاع نمواً مستداماً ويجب تسريع هذا التطور بسبب الحرب في أوكرانيا. تتجه الحكومات بالفعل إلى مصادر الطاقة المتجددة والمحلية الميسورة التكلفة، مما يضمن استقلالية الطاقة. ووفقاً للمجلس العالمي لطاقة الرياح، يساعد هذا القطاع أيضاً على تجنب إطلاق 1.1 مليار طن من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي سنوياً، وهو ما يعادل الانبعاثات السنوية لأمريكا الشمالية.

- الصين، رائدة طاقة الرياح العالمية في جميع الفئات مع 55.8 جيجاوات من العنفات الجديدة، قامت الصين وحدها بتركيب أكثر من نصف العنفات الهوائية التي تم تشغيلها العام الماضي. وبالتالي، فقد حطمت مرة أخرى رقمها القياسي البالغ 52 جيجاوات المسجل في عام 2020. وهذا يعادل نمواً بنسبة 19.4٪. تمتلك المملكة الوسطى الآن 344 جيجاوات من العنفات الهوائية قيد الإنتاج في جميع أنحاء البلاد، أو حوالي 40 ٪ من أسطول العالم. باعتبارها ثاني أكبر سوق في العالم لطاقة الرياح، شهدت الولايات المتحدة أيضاً نمواً في عام 2021. تقترب قدرة الرياح المركبة في الولايات المتحدة الآن من 135 جيجاوات (أي 16٪ من مزرعة الرياح العالمية). وبعيداً عن هذين الزعيمين، تظل مزرعة الرياح الألمانية في المرتبة الثالثة من حيث الطاقة التراكمية، بقدرة 64 جيجاوات، متقدمة على الهند (40 جيجاوات) وإسبانيا (28 جيجاوات).

- إسبانيا، أصبح قطاع طاقة الرياح المصدر الرئيسي للكهرباء في البلاد العام الماضي بعد طفرة في أوائل العقد الأول من القرن الحالي بفضل منح المساعدات العامة، عانى القطاع من التوقف المفاجئ في عام 2013، بعد توقف الدعم في خضم الاقتصاد. زادت القدرة المركبة لإسبانيا، التي

تستضيف ما مجموعه 1265 مزرعة رياح، من 23.4 جيجاوات في عام 2018 إلى 28.1 جيجاوات في عام 2021 وفقاً للجمعية الإسبانية لشركات طاقة الرياح (AEE). أصبحت الدولة الثانية في أوروبا بعد ألمانيا وخامس دولة في العالم من حيث طاقة الرياح المركبة.

• فرنسا، التي تحتل المرتبة الثامنة في العالم من حيث طاقة الرياح التراكمية، تسريع طاقة الرياح البحرية. كلفت فرنسا 1.1 جيجاوات من السعة الجديدة في عام 2021. وهذا يمثل زيادة بنسبة 6.3% في طاقة حدائقها. أطلقت الدولة، التي تريد تسريع طاقة الرياح البحرية، المناقصات الأولى قبل بضعة أسابيع في البحر الأبيض المتوسط، حيث يجب أن يضيء منتزهان عائمان عن الشاطئ ضوء النهار بحلول عام 2030. هذان الموقعان سيمكنان من إمداد أحدهما بالكهرباء مليون شخص حسب رئيس الوزراء جان كاستكس. تم إطلاق مشروع مزرعة الرياح البحرية Saint-Nazaire في لوار أتلانتيك رسمياً في عام 2012، وأصبح حقيقة واقعة، بعد عدة سنوات من التأخير تخللتها الاستئنافات القانونية من المعارضين. بحلول نهاية العام، يجب تشغيل 80 عنفة هوائية بارتفاع 180 متراً مزروعة في قاع البحر، على بعد حوالي خمسة عشر كيلومتراً من الساحل. الهدف من هذه الحديقة، التي تغطي مساحة 80 كيلومتراً مربعاً، توفير 20% من احتياجات الكهرباء في لوار أتلانتيك. على الرغم من ساحلها البالغ طوله 2800 كيلومتر في البر الرئيسي لفرنسا، فإن فرنسا متخلفة كثيراً في طاقة الرياح البحرية مقارنة بالمملكة المتحدة أو الدول الاسكندنافية أو حتى ألمانيا. هناك سبعة مشاريع خارجية حتى الآن (Dunkirk، وDieppe، وFécamp، وCourseulles، وSaint-Brieuc، وSaint-Nazaire، وYeu-Noirmoutier) وتخطط فرنسا الخمسين في عام 2050. بالنسبة للحكومة، التي قامت بإجراء مراجعة جذرية للأهداف الإنمائية للرياح البرية.

5-1 امكانات طاقة الرياح في الجزائر:

1-5-1 لمحة موجزة عن تاريخ طاقة الرياح في الجزائر:

لا تزال خطوات الجزائر في مجال طاقة الرياح محجوزة أو حتى بطيئة للغاية مقارنة بالتطور السريع المعروف في العالم. ومع ذلك، فإن الجزائر لديها كل ما يلزم لتطوير طاقة الرياح، ولديها إمكانات رياح كبيرة يمكن استغلالها لإنتاج الطاقة الكهربائية في الجزائر كانت المحاولة الأولى لربط عنفات الرياح بشبكة توزيع الطاقة الكهربائية في عام 1957، مع تركيب مولد رياح بقدرة 100 كيلو واط في موقع Grands Vents (الجزائر العاصمة) الموضح في الشكل (5)؛ صممه المهندس الفرنسي ANDREAU، تم تثبيت هذا النموذج الأولي في البداية في St-Alban في إنجلترا. هذا

النوع من الاجنحة الهوائية ذات النصل المتغير، بارتفاع 30 متراً وقطر 25 متراً، تم شراؤه بواسطة الشركة الجزائرية للكهرباء والغاز Electricité et Gaz d'Algérie ثم تم تفكيكه وتركيبه في الجزائر [6].



الشكل (04): عنفات الرياح Grand Vent 100 kW.

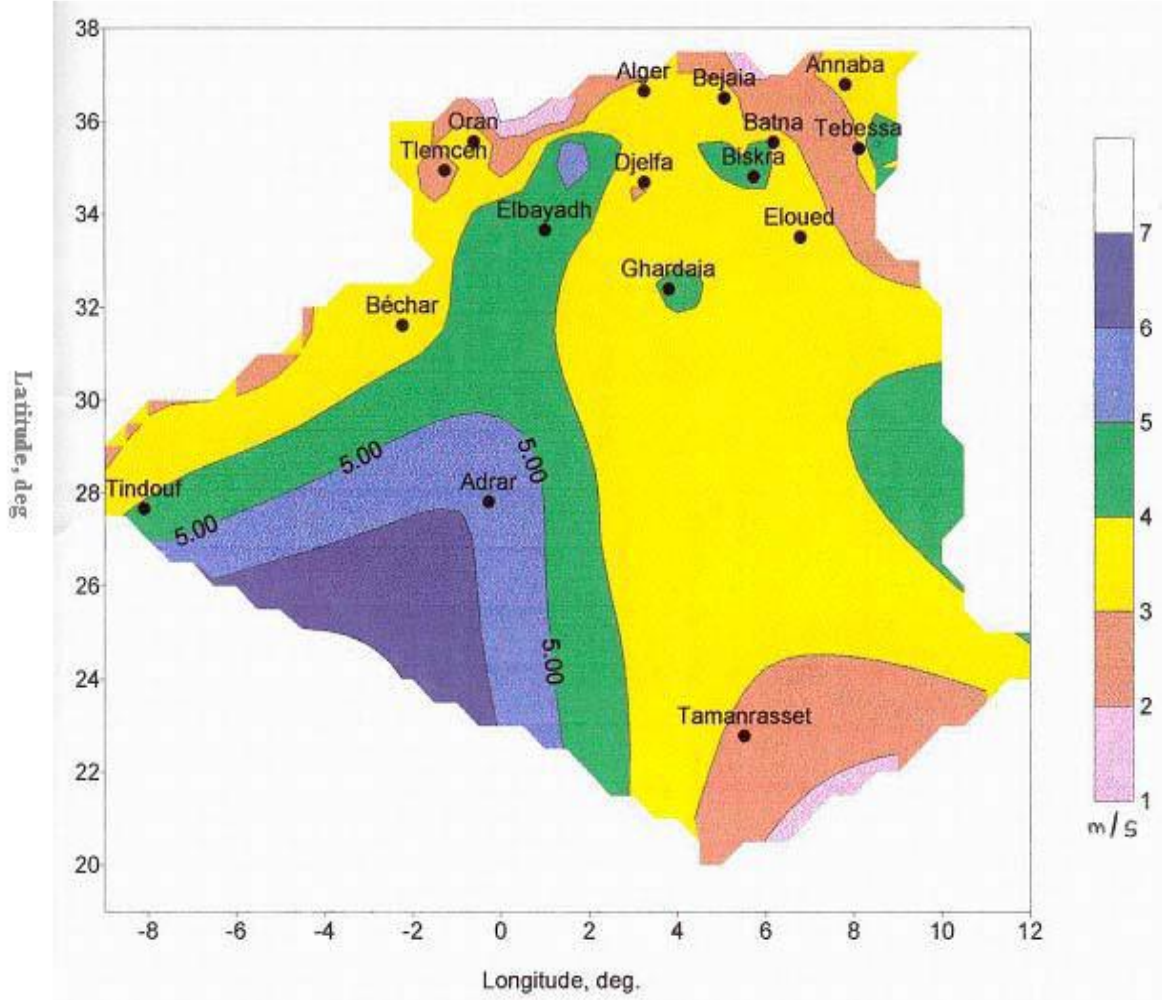
2-5-1 الرياح في الجزائر:

الرياح هي متغير المدخلات لنظام الرياح. إن استخدامه قيد التطوير الكامل في العالم، وقد بدأ حالياً في أن يكون مهماً في الجزائر. نحتاج إلى إجراء قياسات لسرعة الرياح في عدة مواقع لتحديد معالم الرياح الضرورية. يوضح الشكل (6) مثلاً للمناطق التي تهب عليها الرياح في الجزائر بناءً على بيانات الأقمار الصناعية من مختبر طاقة الرياح التابع لمركز تطوير الطاقات المتجددة (CDER).

3-5-1 الرياح في الجنوب:

سرعات الرياح عالية ويمكن أن تتجاوز 4 م / ث حتى 6 م / ث في منطقة أدرار [7]. يُظهر العمل الذي قام به باحثون جزائريون بوضوح أنه يمكن ممارسة ضخ المياه عبر السهوب والصحراء الجزائرية التي تحتوي على خزان جوفي كبير..

سجل الباحثون انخفاضا لمتوسط السرعة بين 1م / ث حتى 4م / ث على مستوى المناخ المحلي في المواقع الساحلية لوهران وبجاية وعنابة ومرتفعات تيارت وكذلك في المنطقة التي تحدها بجاية من الشمال وبسكرة من الجنوب كما هو موضح في الشكل 6.



الشكل (05): أطلس رياح الجزائر

6-1 أجهزة قياس الرياح: [8]

1-6-1 دوارة الرياح (Girouette):

وهو عبارة عن ذراع حديدية تتخذ شكل السهم المثبت فوق عمود رأسي حديدي، ويتزامن دورانه مع السهم بكل سهولة ويسر، ويكون العمود والسهم مثبتين فوق عمود آخر ثابت له ذراعان أفقيتان تتجهان نحو الجهات الأصلية، ويستخدم لتحديد اتجاه الرياح.



الشكل (06): دوارة الرياح (Girouette)

2-6-1 الأنيموميتر (L'anémomètre):

الأنيموميتر هو أحد أدوات قياس سرعة الرياح، ويمكن لهذا الجهاز قياس سرعات الهواء التي تقع ضمن نطاق 5 إلى 100 عقدة، ويُعتبر جهاز الأنيموميتر الكهربائي أكثر الأنواع الشائعة، والذي يعمل من خلال دوران عدد من الكؤوس التي يعمل الهواء على تحريكها، وينتج عن هذا الدوران تشغيل مولد كهربائي يقوم بتشغيل عداد كهربائي تتم معايرته وضبطه مع سرعة الرياح.



الشكل (07): الأنيموميتر.

7-1 العنفات الهوائية:

جهاز يحول طاقة الرياح إلى حركة منحنية، ثم تزود إما بمولد كهرباء، أو لتشغيل الآلات مباشرة، لأغراض مثل طحن الحبوب أو ضخ المياه.

تطورت هذه الفكرة لأكثر من ألف عام، في هذه الايام يتم تصنيع عنفات الهواء بشكل واسع وبأنواع مختلفة من العنفات العمودية والأفقية المحور. العنفات الصغيرة تستخدم لتطبيقات مثل شحن البطاريات أو كطاقة احتياطية أو لإبحار القوارب الصغيرة. أما الشبكات الكبيرة ممن العنفات المتصلة أصبحت مصدر كبير لإنتاج الطاقة التي تخدم المباني التجارية.

8-1 أنواع العنفات الهوائية: [9]

1-8-1 عنفة هوائية ذات المحور الأفقي (- Horizontal Axis Wind Turbine :HAWT)

هي أشهر أنواع العنفات وأقدمها وأكثرها انتشاراً في العالم، وسمي هذا النوع من العنفات بالعنفات الأفقية لأن جسم العنفة يحمل على برج ويكون محور دوران العنفة أفقياً.

يتم تصميم أجنحة العنفة بشكل انسيابي وأيروديناميكي أي أن مقطع الجناح يشبه مقطع جناح الطائرة، وبالتالي عندما تصطدم الرياح بها تنشأ قوة رافعة نتيجة لفرق الضغط بين ظهر وبطن الأجنحة وتسبب دورنها.

إيجابياتها: 

☒ الأبراج العالية تضمن التعرض لرياح أقوى لأن قوة الرياح تزداد بالارتفاع، كما أن طول الأبراج يسمح بتصويب العنفات على ارتفاعات مختلفة وفي الغابات حيث يمكن أن تكون فوق خط ارتفاع الأشجار.

☒ تتموضع الأجنحة على جانب مركز الجاذبية للعنفة مما يساعد في تحقيق الثبات، كما أن وجود حساس اتجاه سرعة الرياح ومحرك الانحراف يضمن مواجهة العنفة لاتجاه الرياح. كما أنه يمكن التحكم بزاوية ميلان الجناح نفسها بتأثير الرياح مما يقلل الأضرار خلال العواصف وتعرف هذه الخاصية باسم (Changing Blades Pitch Angle).

سلبياتها: 

☒ نقل هذه العنفات صعب ومكلف حيث تبلغ تكاليف النقل حوالي 20% من التكاليف الإجمالية، وتركيبها 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.

☒ هنالك تقارير عن انزعاج الساكنين من مقربة من عنفات الرياح من الصوت العالي، ولكن

تتضارب الآراء بهذا الصدد



الشكل (08): عنفات هوائية ذات المحور الأفقي

2-8-1 عنفة هوائية ذات المحور العمودي (Vertical Axis Wind Turbine VAWT):

تعد العنفات الهوائية ذات المحور العمودي أكثر ملاءمة للاستخدام في المناطق الحضرية، لأن عملها مستقل عن اتجاه الرياح، لا يمكن التنبؤ به في هذه البيئة، وأنها عمومًا أقوى من العنفات الهوائية المحورية الأفقية وأقل ضوضاء. الشكل المفضل لعنفات الهوائية ذات المحور العمودي، لم يتم تحديده بوضوح نظراً لعدم وجود نموذج لا يزال مفروضاً على أنه الأكثر كفاءة. ومع ذلك، يمكننا تصنيف العنفات الهوائية ذات المحور العمودي في عائلتين من العنفات، نوع Darrieus ونوع Savonius.

نوع دارايوس (Darrieus):

تتكون العنفة الهوائية من نوع دارايوس من جنحين أو ثلاث أجنحة ذات جوانب أيروديناميكية، وتعمل على قوة الرفع. يمكن أن تكون الأجنحة مستقيمة، تروبوسكين أو حلزوني.



الشكل (09): عنفة هوائية نوع داريوس Darrieus.

نوع سافونيوس Savonius

تتكون العنفة الهوائية من نوع سافونيوس من جناحين أو ثلاث كل جناح له شكل يشبه نصف اسطوانة تعمل على توليد قوة السحب. يمكن أن يكون الجناح مستقيماً أو ملتويًا مع هذا النوع أيضاً.



الشكل (10): عنفة هوائية نوع سافونيوس Savonius.

إيجابياتها:

- ✓ سهلة الصيانة.
- ✓ منخفضة تكاليف النقل والتركيب.
- ✓ لا تحتاج إلى توجيه باتجاه الرياح حيث تدور مستقلة عن الإتجاه الذي تأتي منه الرياح.
- ✓ تكون فعالة في الهضاب الصغيرة والتلال.

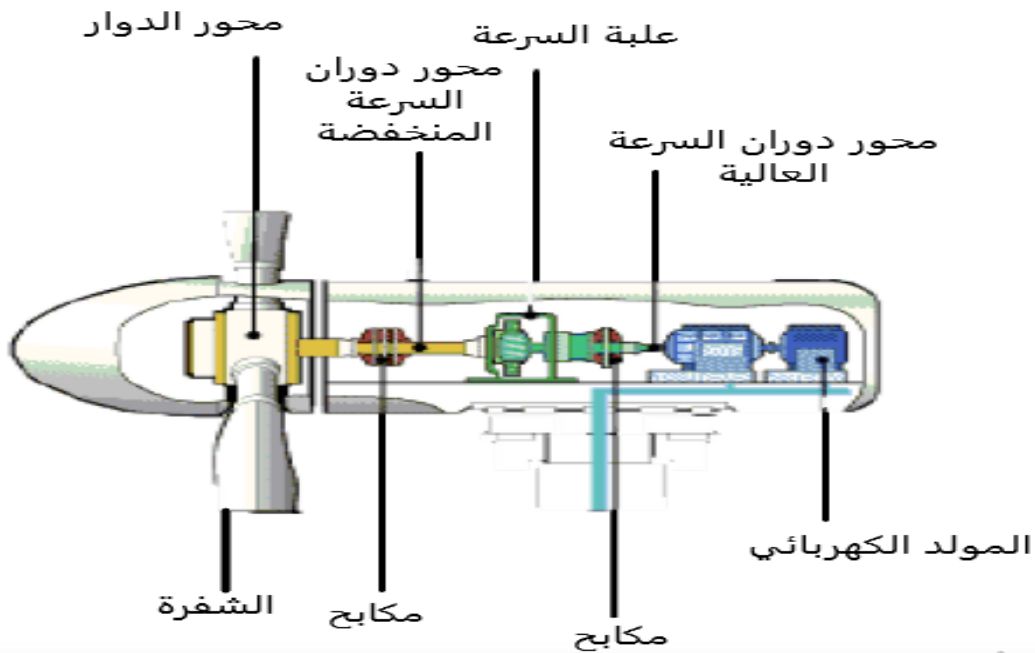
سلبياتها:

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

في دراستنا نسلط الضوء على العنفات ذات المحور الأفقي الصغيرة:

3-8-1 مكونات العنفات الهوائية أفقية المحور: [9]

إن العنفات الهوائية عبارة عن أجهزة تقوم بتحويل طاقة الرياح إلى طاقة كهربائية وميكانيكية تستعمل هذه الأخيرة في ضخ المياه. تتألف هذه العنفات من المكونات التالية:



الشكل (11): مكونات العنفة الهوائية

* أجنحة العنفة (Blades):

إن غالبية العنفات الهوائية مزودة بثلاث أجنحة لها نفس الشكل ومتساوية الأبعاد وتتمتع بانسيابية إيروديناميكية عالية بحيث تدور بتأثير سرعة الرياح. ومهمة أجنحة العنفة هي امتصاص الطاقة الحركية التي تحملها الرياح لتدوير محور الدوران للسرعة المنخفضة المتصل مع الأجنحة عن طريق مركز الدوار.

* محور دوران الدوار (Rotor Hub):

يوجد في مقدمة العنفة ويرتبط مع محور دوران السرعة المنخفضة من جهة بينما ترتكز الأجنحة على جوانبه، وتعد وظيفته الأساسية هي الدوران مع الأجنحة وتدوير محور دوران السرعة المنخفضة، كما يؤمن الدعم والربط للأجنحة.

* محور دوران السرعة المنخفضة (Low Speed Shaft):

يرتبط مع الأجنحة عن طريق مركز الدوار ويدور بسرعة الأجنحة نفسها ومهمته نقل الحركة إلى علبة السرعة التي تدور بدورانه.

* علبة السرعة (Gear Box):

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

* محور دوران السرعة المرتفعة (High Speed Shaft):

يرتبط مع علبة السرعة من جهة ومع المولد الكهربائي من الجهة الأخرى عن طريق محور المولد ومهمته نقل الحركة من علبة السرعة إلى المولد الكهربائي.

* المولد الكهربائي (Electrical Generator):

يرتبط محور المولد الكهربائي مع محور دوران السرعة العالية ويدور لتوليد الطاقة الكهربائية بتردد مساوي لتردد الشبكة الكهربائية. تخرج الأسلاك من المولد الكهربائي وتمر عبر برج العنفة

لتصل إلى المحول الكهربائي الرافع للجهد الذي يقوم برفع قيمة الجهد الكهربائي لتكون مساوية لجهد النقل. كما يرتبط المحول الكهربائي مع مركز التحويل الذي يربط عددا من العنفات مع بعضها البعض ويؤمن بدوره الربط مع الشبكة الكهربائية وبالتالي نقل الطاقة المنتجة من العنفات إلى الشبكة.

* برج عنفة الرياح (Turbine Tower):

يتم تصميم البرج ليتحمل وزن جسم العنفة كاملاً وتمر في داخله الأسلاك الخارجة من المولد إلى المحول كما يتم بناء السلالم داخل البرج حتى يتمكن عمال الصيانة من الوصول إلى أقسام العنفة عند الحاجة. تضم قاعدة البرج غرفة التحكم بالعنفة لمراقبة أداء العنفة وإيقافها في أوقات الصيانة مثلاً كما قد يوجد المحول الكهربائي في قاعدة البرج أو خارجه. أما في قمة البرج وفي نقطة الإتصال مع جسم العنفة يوجد محرك الانحراف Yaw Motor، ويتصل هذا المحرك مع حاسوب يقوم بتحليل الإشارات القادمة من الحساسات، ومن ثم يرسل الحاسوب بدوره إشارة إلى المحرك ليقوم بتدوير جسم العنفة ليصبح باتجاه الرياح.

* حساسات ومكابح (Sensors and Breaks):

يوجد في نهاية جسم العنفة حساس لاتجاه الرياح وسرعتها ويكون بعيداً عن تأثير الرياح التي تصطدم بالأجنحة. يتصل هذا الحساس بحاسوب ينقل له باستمرار معلومات عن سرعة الرياح واتجاهها ليقوم هذا الحاسوب بتحليل هذه الإشارات وإرسال إشارة إلى محرك الانحراف ليصح اتجاه العنفة. أما المكابح فتوجد على محاور الدوران ومهمتها إيقاف دوران العنفة عند الحاجة للصيانة أو في حالات العواصف الشديدة لتأمين الحماية للعنفة.

9-1 عوامل تصنيف العنفات الهوائية:

تصنف العنفات الهوائية على العوامل التالية:

الاستطاعة (w)	القطر (m)	تصنيف العنفات الهوائية
أقل من 100Kw	بين 0.5m و 20m	العنفات الهوائية الصغيرة
100Kw الى Mw1	20m و 50m	العنفات الهوائية المتوسطة
أكثر من Mw1	50m الى 100m	العنفات الهوائية الكبيرة

الجدول (01): تصنيف العنفات الهوائية

1- السرعة النوعية λ : يتعلق معامل التشغيل الأول بالسرعة المماسية الطرفية (السرعة على طرف الجناح) وتعطى بالعلاقة $V = \Omega \cdot R$ حيث:

Ω تمثل سرعة دوران العنفات.

R نصف القطر الدوار.

ويدعى أيضا بنسبة السرعة الطرفية أو السرعة النوعية حيث:

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

✚ إذا كان $\lambda < 3$ فإن العنفات بطيئة الدوران مثال العنفات التي تضخ الماء ميكانيكيا.

✚ إذا كان $\lambda > 3$ فإن العنفات سريعة الدوران مثال العنفات التي تولد الكهرباء.

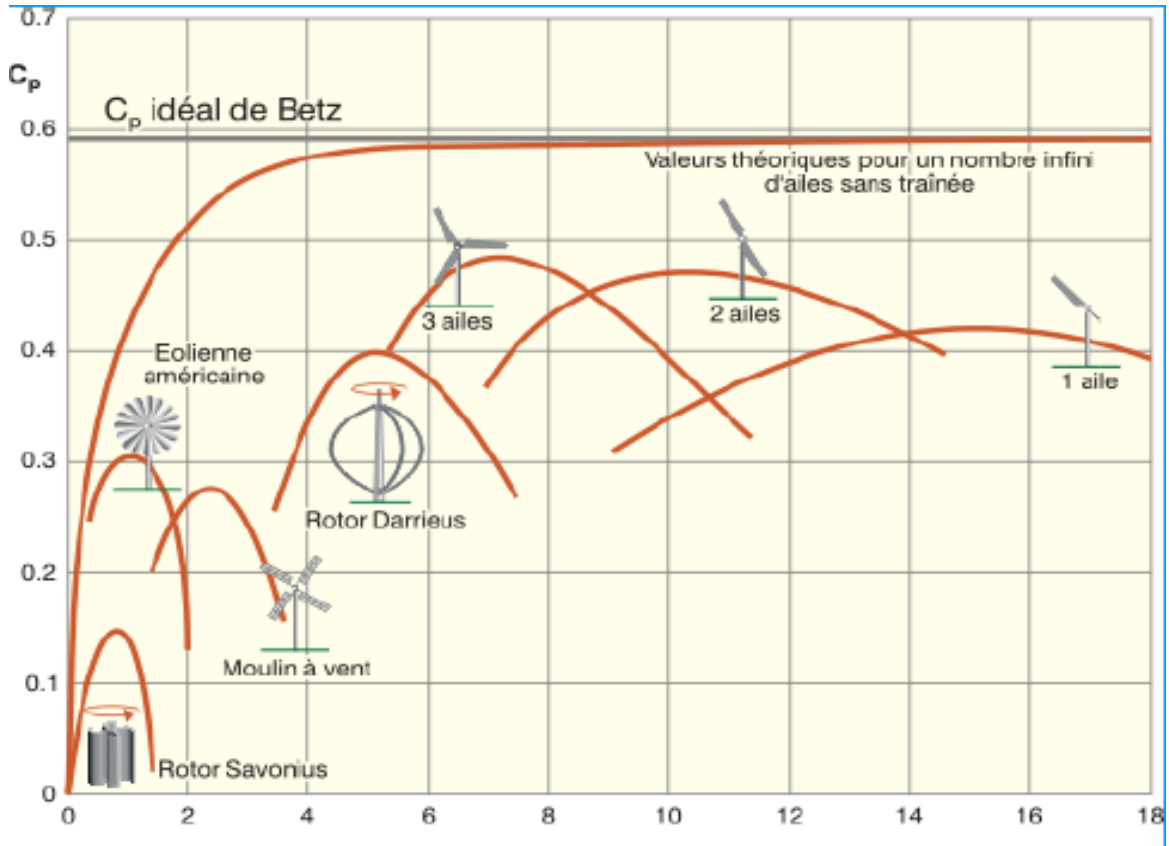
2- معامل الاستطاعة C_p : وهي النسبة بين الاستطاعة الممتصة من الرياح والاستطاعة المتوفرة فيها، هذا المعامل يحدد مستوى مردودية العنفات الهوائية، إذ قدر الفيزيائي بيتز (Betz) القيمة القصوى ب 0.592 وذلك في الظروف المثالية الذي افترضها بيتز.

3- معامل عزم الدوران C_M : وهو النسبة بين معامل الاستطاعة والسرعة النوعية:

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

يمثل الشكل أسفله معامل الاستطاعة C_p بدلالة λ وذلك بالنسبة لمختلف العنفات الموجودة

في الواقع.



الشكل (12): معامل الاستطاعة C_p بدلالة λ .

الفصل الثاني

توزيع ويبل

Weibull distribution



يمثل اختيار الموقع والتوصيف الإحصائي لسرعة الرياح أهم العوامل في عملية تصويب العنفات الهوائية الصغيرة. في الواقع، يعد متوسط قيمة سرعة الرياح وتغيرها بمرور الوقت من العوامل التي لها التأثير الأكبر على الربح الاقتصادي وبالتالي فإن تحليل سرعة الرياح في الموقع يمثل المرحلة الأولى من أي مشروع طاقة الرياح، مما يجعل من الممكن تقدير الطاقة الإنتاجية نظراً لأن الرياح لها طابع عشوائي، يجب أن يعتمد تحليلها على الأساليب الإحصائية. وبالتالي، فإن المعاملات التي تتميز نظام الرياح على الموقع ستكون هي قيمة متوسط السرعة والقوانين الإحصائية هي التي تجعل من الممكن تمثيل تباينها الزمني. من بين هذه القوانين، نجد قانون وايبيل (Weibull) الذي يجعل من الممكن وصف توزيع ترددات سرعة الرياح.

2-2 التحليل الإحصائي لبيانات الرياح:

لتقدير إمكانات طاقة الرياح للموقع، يجب تحليل بيانات الرياح التي تم جمعها من الموقع وتفسيرها بشكل صحيح. يمكن استخدام بيانات الرياح طويلة المدى من محطات الأرصاد الجوية بالقرب من الموقع المرشح لعمل تقديرات أولية. يجب استقرار هذه البيانات، التي قد تكون متاحة لفترات طويلة، بعناية لتمثيل ملف تعريف الرياح في الموقع المحتمل. بعد هذا التحقق الأولي، يتم إجراء القياسات الميدانية بشكل عام في الموقع المحتمل لفترات أقصر. تعد بيانات الرياح المسجلة في الموقع لمدة عام واحد كافية لتمثيل التغيرات طويلة المدى في ملف تعريف الرياح ضمن مستوى دقة يبلغ [10] بالمائة. تعطينا أنظمة قياس الرياح الحديثة متوسط سرعة الرياح في الموقع، بمتوسط فترة زمنية محددة مسبقاً. يعد متوسط العشر دقائق شائعاً جداً حيث يتم ضبط معظم برامج تحليل الرياح القياسية للتعامل مع البيانات على مدى عشر دقائق. يتم تجميع وتحليل بيانات الرياح قصيرة المدى هذه بمساعدة النماذج والبرامج لعمل تقديرات دقيقة للطاقة المتاحة في مهب الريح. يتم تجميع البيانات عبر فترات زمنية نهتم بها. على سبيل المثال، إذا أردنا تقدير الطاقة المتاحة في ساعات مختلفة، فيجب تجميع البيانات على أساس كل ساعة. يمكن أيضاً تصنيف البيانات على أساس يومي أو شهري أو سنوي [11].

3-2 المتوسط الحسابي (mean):

إذا كان لدينا مجموعة من البيانات v_i مثل مجموعة من سرعات الرياح المقاسة، فإن متوسط المجموعة يُعرّف على أنه [12]:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (1)$$

حيث:

v_i : سرعة الرياح.

n : عدد بيانات الرياح.

4-2 الوسيط (Mediator):

يعد القانون الثاني بالأهمية من قوانين الوسط الحسابي والوسيط والمنوال، وهو يمثل: في حال كان تعداد البيانات فردياً ترتب البيانات تصاعدياً أو تنازلياً ويتم اختيار القيمة التي تقع في الوسط، حيث:

الوسيط = القيمة الوسطى من حيث الموقع لمجموعة مشاهدات.

5-2 التباين (Variance):

يعرف التباين بأنه أحد مقاييس التشتت بين القيم لعينة ما، وهو يقيس مقدار تشتت القيم عن الوسط الحسابي، وعن بعضها البعض، ويتم تعريف التباين σ^2 على أنه:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 \quad (2)$$

6-2 الانحراف المعياري (standard deviation):

يتم تعريف الانحراف المعياري σ على أنه الجذر التربيعي للتباين [11]:

$$\sigma = \sqrt{\text{variance}} \quad (3)$$

7-2 توزيع تردد سرعة الرياح:

بغض النظر عن توزيع سرعات الرياح على مدار يوم أو عام، من المهم معرفة عدد المرات في الشهر أو السنة التي حدثت خلالها سرعات الرياح المعينة، أي التوزيع التكراري لسرعة الرياح. للوصول إلى توزيع التردد هذا، يجب أن نقسم مجال سرعة الرياح إلى عدد من الفواصل الزمنية، معظمها بعرض متساوٍ يبلغ $1 (m/s)$ أو $0.5(m/s)$. ثم بدءاً من الفترة الأولى من $0-1 (m/s)$ ، يتم حساب عدد مرات سرعة الرياح في الفترة المعنية. عندما يتم رسم عدد الساعات في كل فترة زمنية مقابل سرعة الرياح، تم تزويد وظائف الاحتمال المختلفة بالبيانات الميدانية لتحديد التوزيعات الإحصائية المناسبة لتمثيل أنظمة الرياح. لقد وجد أنه يمكن استخدام توزيعات Weibull و Rayleigh لوصف تغيرات الرياح في نظام بمستوى دقة مقبول [13]. للحصول على توزيع تردد سرعة الرياح، يلزم الإجراء التاليان:

1-7-2 تجميع البيانات:

وهي الطريقة لتكثيف معلومات من سلسلة زمنية مقاسة. يسمى فرز البيانات في نطاقات ضيقة لسرعة الرياح بتجميع البيانات.

2-7-2 التكرار النسبي:

يعرف التكرار النسبي على أنه:

التكرار النسبي = تواتر سرعة الرياح المعطاة / الفترة الإجمالية

R.F.= Frequency of given wind speed / Total period

8-2 توزيع ويبل Weibull: [14]

يعرف توزيع ويبل في النظرية الاحتمالية وعلم الإحصاء بأنه توزيع احتمالي مستمر وأول من اكتشفه العالم الفيزيائي ويبل (1939) وسمي التوزيع باسمه وهو توزيع يستعمل في التحليل الإحصائي للبيانات. ويوصف توزيع ويبل Weibull كدالة كثافة الاحتمالية ووظيفة التوزيع التراكمي، والتي تحدها المعادلة التالية:

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right] \quad (4)$$

$$F(V) = \int_0^{+\infty} f(V) dV = 1 - \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right] \quad (5)$$

حيث $v(m/s)$ هو سرعة الرياح، K معامل الشكل، $C(m/s)$ معامل المقياس. تختلف قيم K من 1.5 إلى 3.0 لمعظم ظروف الرياح.

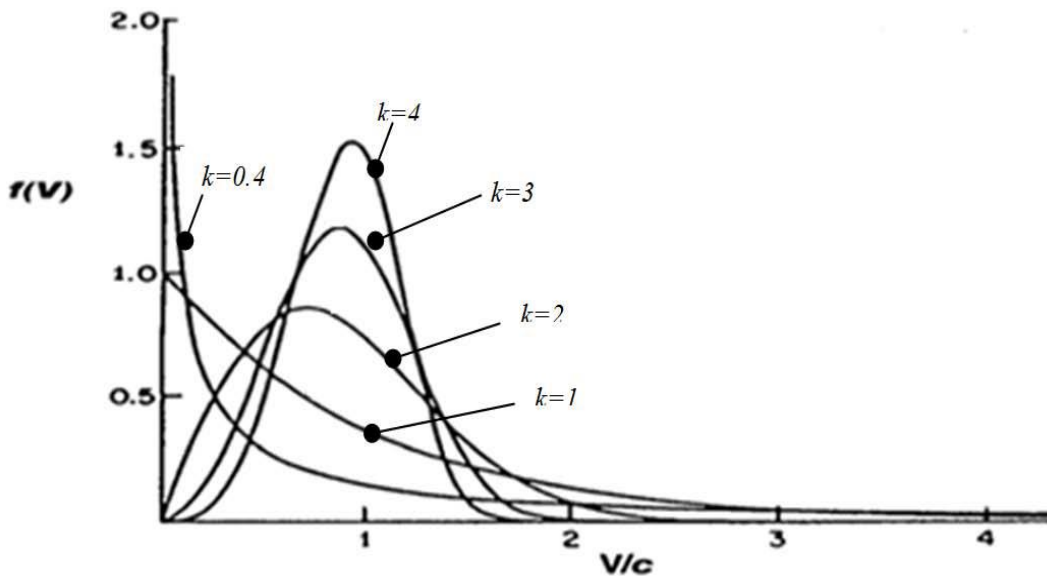
يتم تنفيذ العملية الرسومية بواسطة وظيفة التوزيع التراكمي. في هذا التوزيع، يتم احتواء بيانات سرعة الرياح بواسطة خط مستقيم، باستخدام مفهوم المربعات الصغرى. يمكن تمثيل معادلة هذه الطريقة بتحويل مزدوج لوغاريتمي على النحو التالي:

$$\ln\{-\ln[1 - F(V)]\} = k \ln(V) - k \ln(C) \quad (6)$$

ترتبط المعاملان K و C ارتباطاً وثيقاً بقيمة سرعة الرياح.

$$\bar{V} = C \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (7)$$

Γ : دالة غاما



الشكل (13): تأثير قيم معامل k على شكل التوزيعات

يوضح الشكل (14) النماذج المختلفة التي يتخذها توزيع ويبيل WeiBull وفقاً لقيم K .

أساليب تحديد معاملات ويبيل Weibull : 1-8-2

✓ طريقة الإمكان الاعظم (maximum likelihood method):

تعد هذه الطريقة من الطرائق المهمة في التقدير لأنها تحتوي على خصائص جيدة كثيرة، ويمكن تعريف التقدير بهذه الطريقة هي قيم المعلمات التي تجعل دالة الإمكان في نهايتها العظمي. يمكن تقدير معامل الشكل k كالآتي:

$$k = n \left[\frac{\sum_{i=1}^n V_i^k \ln(V_i)}{\sum_{i=1}^n V_i^k} \right]^{-1} \quad (8)$$

حساب معامل الشكل يمكننا من حساب معامل المقياس C كما يلي:

$$C = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^k \right]^{\frac{1}{k}} \quad (9)$$

حيث:

☞ N هو عدد ملاحظات سرعة الرياح غير الصفيرية تقاس في الفاصل الزمني الأول.

☞ k معامل النموذج التي يتم تحديده عن طريق حساب تكراري من خلال أخذ قيمة قائمة من

K = 2 (تؤخذ هذه القيمة كنقطة انطلاق لأن التجربة أظهرت أن القيمة النهائية تختلف

بين 1.7 و 2.3 في معظم الحالات).

☞ V_i (m/s) سرعة الرياح غير صفيرية في لحظة i.

✓ الطريقة الخطية (linear Regression of logarithmic transformed)

:(data method)

هو خوارزمية تعلم آلي تعتمد على التعلم الخاضع للإشراف. ينفذ مهمة الإنحدار. نماذج الإنحدار قيمة تنبؤ مستهدفة بناءً على متغيرات مستقلة. يستخدم في الغالب لإكتشاف العلاقة بين

المتغيرات والتتبؤ. تختلف نماذج الإنحدار المختلفة بناءً على نوع العلاقة بين المتغيرات التابعة والمستقلة التي يدرسونها، وعدد المتغيرات المستقلة التي يتم استخدامها.

✓ طريقة اللحظات (Moments method):

يمكن استخدام طريقة اللحظات كبديل لأقصى طريقة احتمالية، إذا كانت البيانات المتاحة فقط متوسط قيمة التوزيع الخامس والانحراف المعياري σ بحيث:

$$\sigma^2 = [(V - \bar{V})^2] \quad (10)$$

يمكن تحديد k و c باستخدام المعادلات (11) و (12): [15]

$$\left(\frac{\sigma^2}{\bar{V}}\right) = \left[\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)}\right] - 1 \quad (11)$$

$$c = \frac{\bar{V}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{K}\right)} \quad (12)$$

حيث Γ و \bar{V} هي على التوالي سرعة الرياح المتوسط والانحراف المعياري للبيانات الملحوظة لسرعة الرياح.

✓ طريقة الانحراف المعياري (standard déviation method):

عبارة تعيين معامل الشكل تكون كما يلي:

$$K = \left(\frac{\sigma}{\bar{V}}\right)^{-1.086} \quad (13)$$

يتم إعطاء معامل المقياس وفق المعادلة (12).

✓ طريقة المربعات الصغرى (Least Squares Method) [16]:

تستخدم هذه الطريقة الحاسوب لغرض اجراء التحليل واعطاء النتيجة وهذه الطريقة هي التقريب بالمربع الاصغر، وتسمى في بعض البحوث (Graphical Method).

9-2 تصميم سرعة الرياح وسرعة الرياح المقدرة:

سرعة الرياح المقدرة هي السرعة التي تصل عندها العنفات الهوائية إلى قوتها المقدرة. ويتم تعريف سرعة الرياح المصممة على أنها سرعة الرياح التي تعمل عندها العنفات بمعامل القدرة القصوى C_p بالنسبة للأخيرة متغيرة السرعة، فيتم تصميمها لتعمل بأقصى نسبة من سرعة الرياح المقطوعة إلى سرعة الرياح المقدرة، لذلك يتم تحديد سرعة الرياح المصممة بنفس سرعة الرياح المقدرة لعنفات الهوائية بالنظر إلى متوسط سرعة الرياح السنوي (AMWS) ولمعرفة المنطقة الجيدة لنصب العنفة قمنا بالبحث على سرعة الرياح لولاية تبسة ولعدم توفر بيانات جيدة انتقلنا إلى منطقة ورقلة حيث أن هذه الولاية تمتلك سرعة رياح معتبرة ما يسمح باستغلالها في إنتاج الطاقة الكهربائية. وفي هذه الدراسة قمنا باستخدام برنامج وايبل بالاعتماد على برمجة الفورتران تم إيجاد سرعة الرياح المتوسطة والتي تقدر بـ $V=4.28(m/s)$ حسب المنظمة العالمية لتوحيد القياس IEC 61400-2 فإن سرعة التصميم $V_{design} = 6 (m/s)$ حسب العلاقة التالية [19]:

$$V_{design} = 1.4 V \quad (14)$$

تخصيص الخطوات:

- 1- بدأ البرنامج الرئيسي.
- 2- إنشاء ملف المخرجات.
- 3- استدعاء الإجراء الفرعي *ESTIM* الذي يحتوي على عدة إجراءات فرعية ومن خلاله نقوم بقراءة ملف البيانات المدخلة.

استدعاء الإجراء الفرعي *SORTS* والذي يقوم بترتيب البيانات ترتيباً تصاعدياً.

استدعاء الإجراء الفرعي *STATS* لحساب الخصائص الإحصائية:

الحد الأدنى $X_{min} = X_1$ الحد الأقصى $X_{max} = X_n$.

المتوسط الحسابي *mean* $\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i$.

الوسيط (Mediator):

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 \quad \text{التباين (Variance):}$$

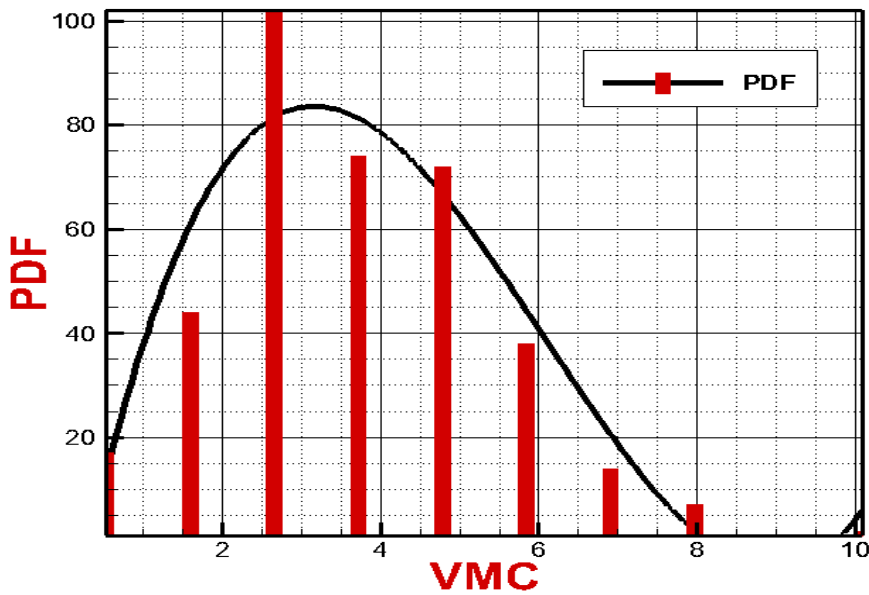
$$\sigma = \sqrt{\text{variance}} \quad \text{الانحراف المعياري (standard deviation):}$$

استدعاء الإجراء الفرعي *ORDER* لحساب كل من دالتي التوزيع التراكمي ودالة الكثافة.

استدعاء الإجراء الفرعي *DISTAT* لحساب الخصائص الإحصائية باستخدام معاملات ويبيل.

ادخال قيمة ابتدائية ل *K*

استدعاء الإجراء الفرعي *MAXLIK* لحساب معامل الشكل ومعامل المقياس.



الشكل (14): منحنى دالة كثافة الاحتمال بدلالة متوسط السرعة.

(pdf) هي الدالة الممثلة لأي توزيع احتمالي عن طريق التكامل. وتكون دالة الكثافة الاحتمالية

موجبة دائماً.

يمكن وصف دالة الكثافة الاحتمالية بأنها تقويم لاستمرارية منسج الذي يمثل التكرارات النسبية

ضمن مجالات النتائج البيانية.

الفصل الثالث

أيرودينا ميكيته

العنفات

الهوائية



1.3 المقدمة:

تعتبر الجنيحات جزءا مهما من محرك الهواء، يتم تصميمها حسب معايير تضمن كلا من عمر تشغيلها وخدمتها وكذا كفاءتها. وهي جهاز ديناميكي يهدف الى تحويل الطاقة الدافعة في تسارع المائع أو تحويل طاقة الازاحة الى طاقة دافعة للدوار.

2.3 تعريف الزوايا حول الجناح:

$$\overline{U} = \text{سرعة دوران الجنيح} = \omega R$$

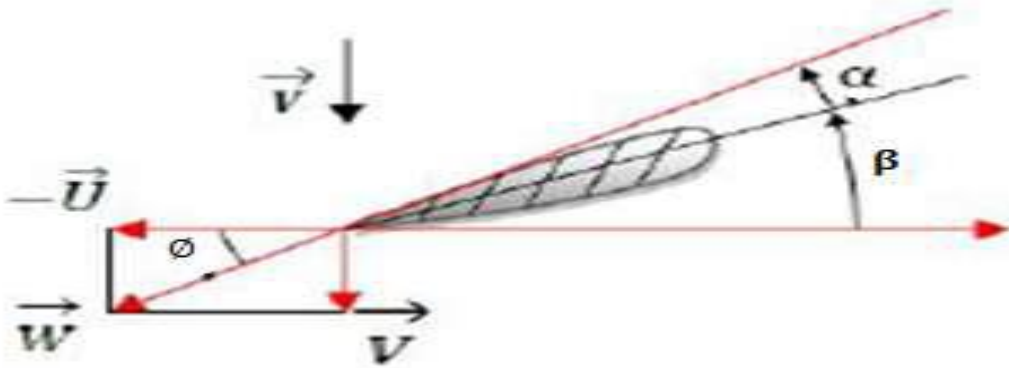
$$\overline{V} = \text{سرعة الرياح.}$$

$$\overline{W} = \text{السرعة النسبية.}$$

$$\overline{W} = \overline{V} - \overline{U}$$

مع العلم أن:

- زاوية الهجوم (α): الزاوية التي يشكلها الوتر مع السرعة النسبية W .
- زاوية الالتفاف (المماثلة) (β): الزاوية التي يشكلها الوتر مع مستوى دوران الجنيح.
- الزاوية النسبية المحلية للهجوم (θ): الزاوية التي تشكلها السرعة النسبية W ومستوى دوران الجنيح.



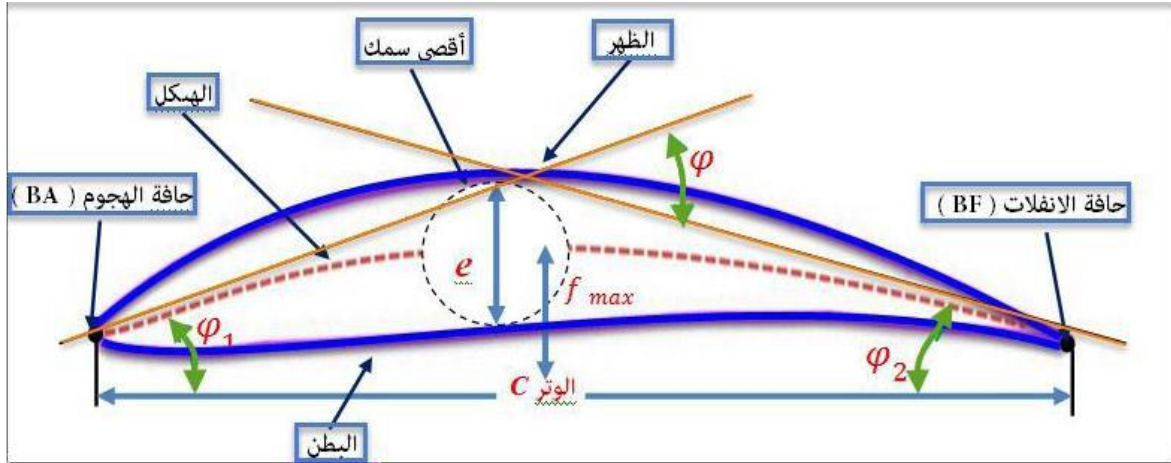
الشكل (15): تحديد الزوايا على الجناح.

3.3 الخصائص الهندسية لمقطع الجناح:

- 1- حافة الهجوم (BA) bord d'attaque: هي النقطة التي تقع في مقدمة الجناح.
- 2- حافة الانفلات (BF) bord de fuit: هي النقطة التي تقع في مؤخرة الجناح.
- 3- ظهر الجناح extrados: هو سطح العلوي للجناح ويكون ذا شكل محدب.
- 4- بطن الجناح intrados: هو سطح السفلي للجناح ويكون ذا شكل مقعر.
- 5- وتر الجناح (c) corde: هو البعد المستقيم بين حافتي الهجوم والانفلات.
- 6- هيكل الجناح squelette: هو مجموعة من النقاط التي تمثل مراكز الدوائر المماسية لكل من بطن وظهر الجناح.
- 7- سمك الجناح épaisseur: يمثل أقطار الدوائر المماسية لسطحي الجناح.
- 8- أقصى سمك الجناح épaisseur maximum: يمثل قطر أكبر دائرة مماسية.
- 9- السمك النسبي للجناح (e_{max} / c) : ويمثل أقصى سمك منسوب إلى طول الوتر (e_{max} / c) .
- 10- التحدب النسبي الهندسي (f_{max} / c) : ويمثل أكبر انحناء منسوب إلى الوتر.
- 11- نصف القطر النسبي لحافة الاقتحام (r_{LE} / c) : ويمثل نصف قطر حافة الهجوم r_{LE} منسوب إلى طول الوتر.
- 12- نصف القطر النسبي لحافة الانفلات (r_{TE} / c) : ويمثل نصف قطر حافة الانفلات r_{TE} منسوب إلى طول الوتر.
- 13- طول الجناح وارتفاعه (h): ويمثل البعد بين جذر الجناح ورأسه.
- 14- الزاوية ϕ_1 : وهي الزاوية الواقعة بين خط المماس الهيكل عند حافة الاقتحام والوتر.

15- الزاوية ϕ_2 : وهي الزاوية الواقعة بين خط المماس الهيكل عند حافة الانفلات والوتر.

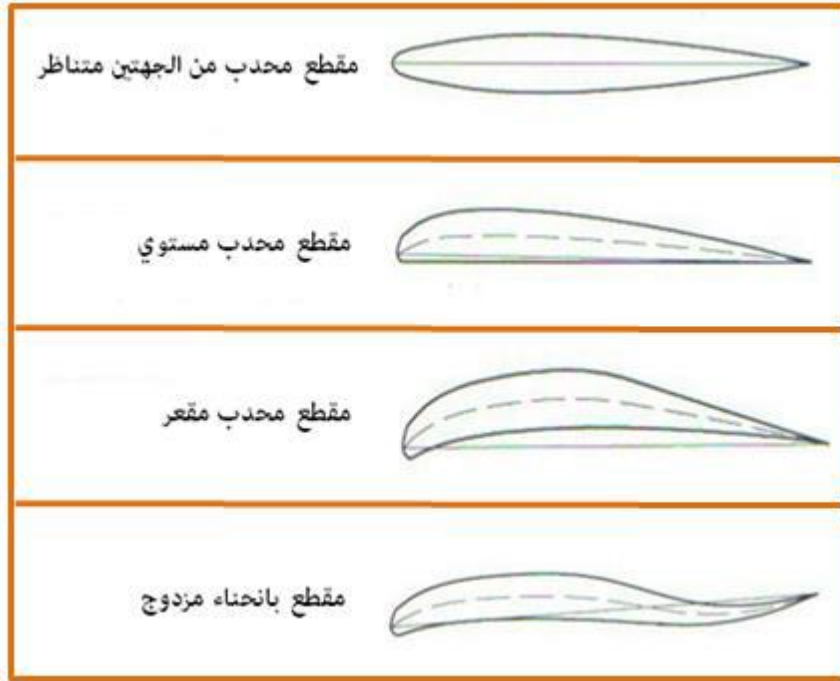
16- زاوية التحدب ϕ : هي الزاوية التي تمثل الفرق بين الزاويتين ϕ_1 و ϕ_2 .



الشكل (16): الخصائص الهندسية لمقطع الجناح.

4.3 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.



الشكل (17): أنواع المقاطع الأيروديناميكية المستعملة في جناح العنفة الهوائية.

5.3 الخصائص الديناميكية الهوائية لجنيح العنفة الهوائية:

1.5.3 القوى المؤثرة على الجنيح:

يمكننا التمييز ثلاثة قوى:

أ - قوة الثقالة (الوزن): هذه القوة هي التي تدفع الجناح إلى الأسفل تعطى بالعلاقة التالية:

$$P = mg$$

ب - قوة الرفع: تكون هذه القوة عمودية على الجناح بالنسبة للتيار ناتجة من الديناميكية الهوائية وهي التي تحافظ على الطائرة في الهواء، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$F_Y = \frac{1}{2} C_Y \rho S V_{\infty}^2$$

S : مساحة المقطع.

V_{∞} : سرعة جريان الهواء.

C_Y : معامل الرفع الذي يعتمد على كل من رقم رينولدز و عدد ماك و شكل الجنيح و زاوية الالتفاف.

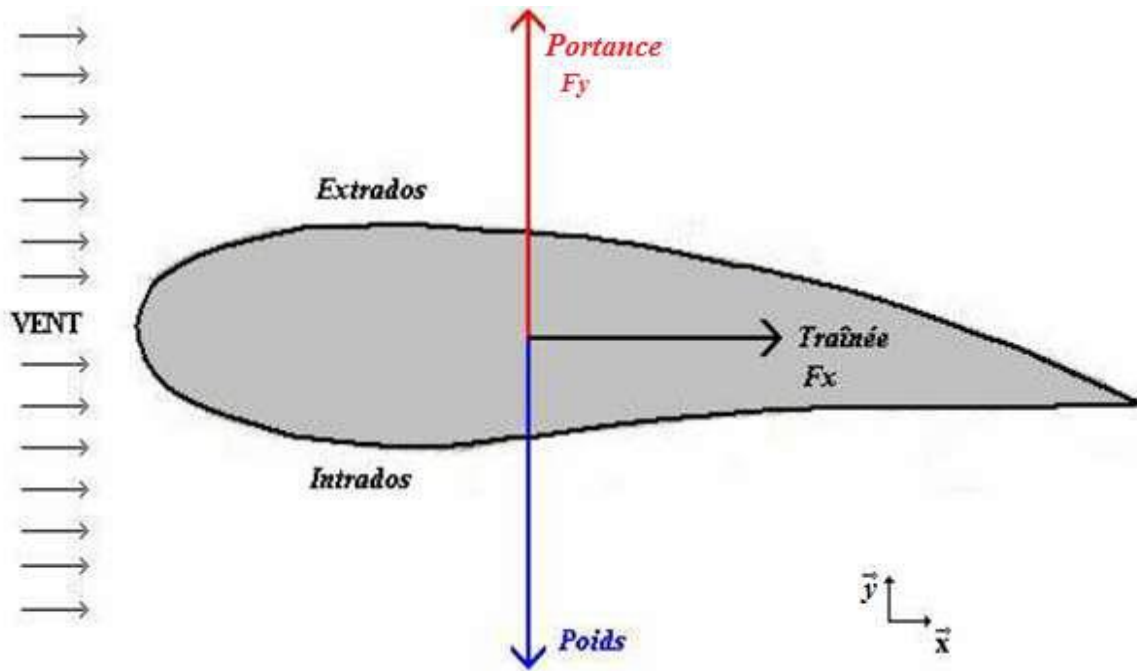
ت - قوة السحب: هذه القوة تمثل مقاومة جناح للحركة في الهواء، لها اتجاه معاكس يتحرك ويزداد مع سرعة الجسم المتحرك يحدد بالصيغة التالية:

$$F_X = \frac{1}{2} C_X \rho S V_\infty^2$$

S: مساحة المقطع.

V_∞ : سرعة جريان الهواء.

C_X : معامل السحب الذي يعتمد على كل من رقم رينولدز و عدد ماك و شكل الجنيح و زاوية السقوط.



الشكل (18): القوى المؤثرة على الجنيح.

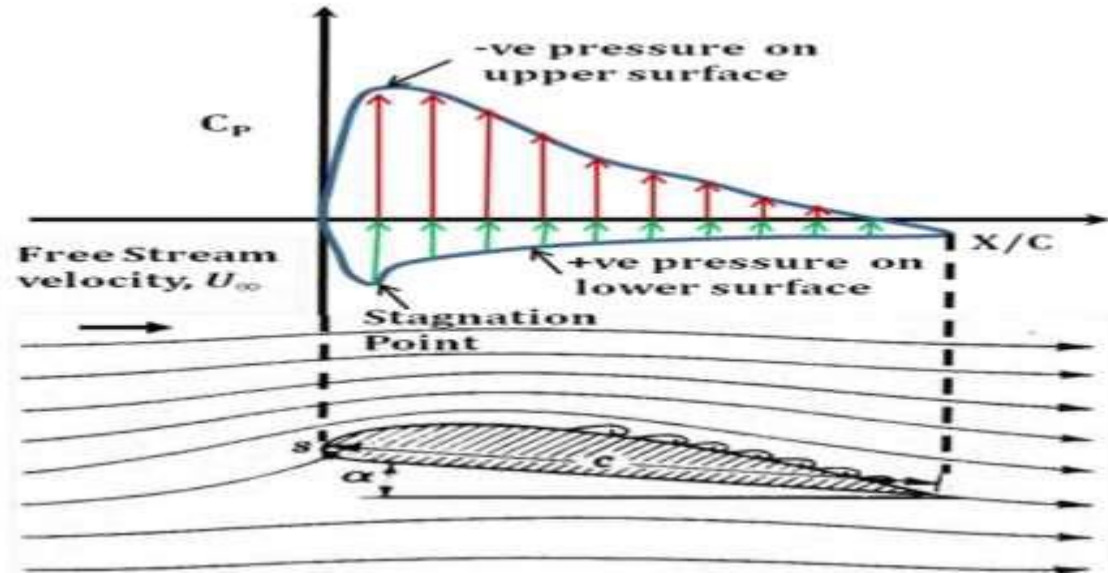
معامل الضغط: لتحديد القوى المطبقة على الجنيح من الضروري معرفة توزيع الضغط حول الجنيح، ما يعادل تدفق مضغوط لتحديد معامل الضغط. الضغط في حد ذاته هو كمية الأبعاد لكن في الأدبيات الديناميكية من الشائع جدا استعمال C_p بدلا من الضغط نفسه يتم كتابة معامل الضغط بشكل عام على النحو التالي:

$$C_p = \frac{P_{local} - P_\infty}{P_{dy}}$$

$$P_{dy} = \frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2 \quad \text{حيث } P_{dy} \text{ : الضغط الديناميكي الحر}$$

تصبح المعادلة:

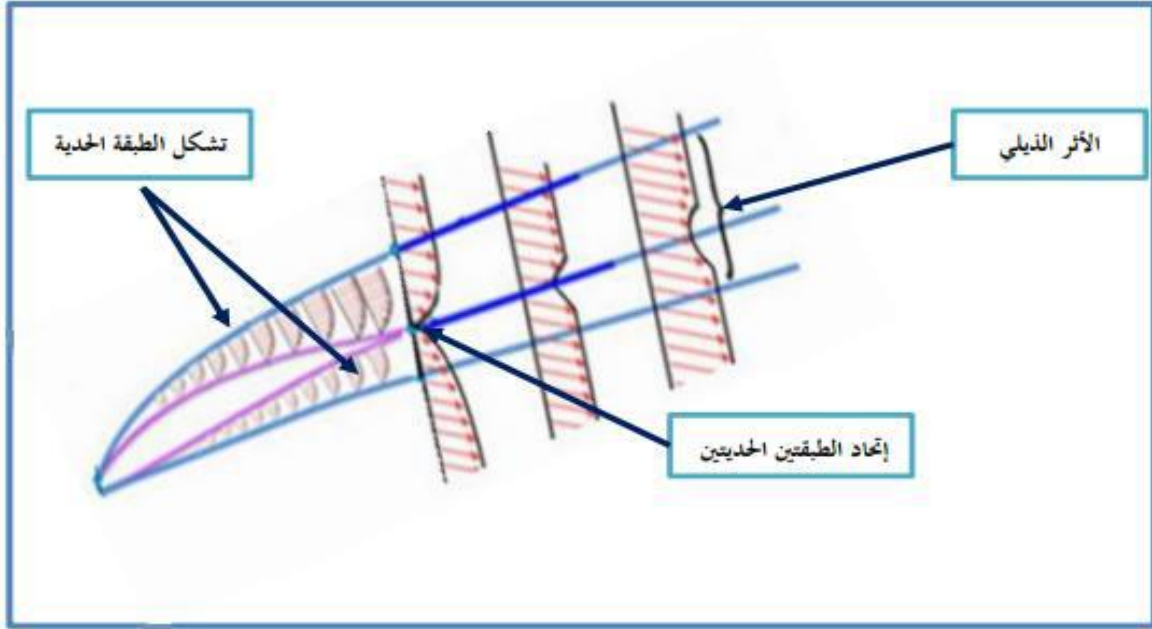
$$C_p = \frac{P_{local} - P_{\infty}}{\frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2}$$



الشكل (19): توزيع الضغط باستعمال C_p .

6.3 تشكل الأثر الذيلي للعنفة: [20]

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



الشكل (20): ظاهرة تشكل الأثر الذيلي للعنفة.

7.3 تسمية الأجنحة:

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:

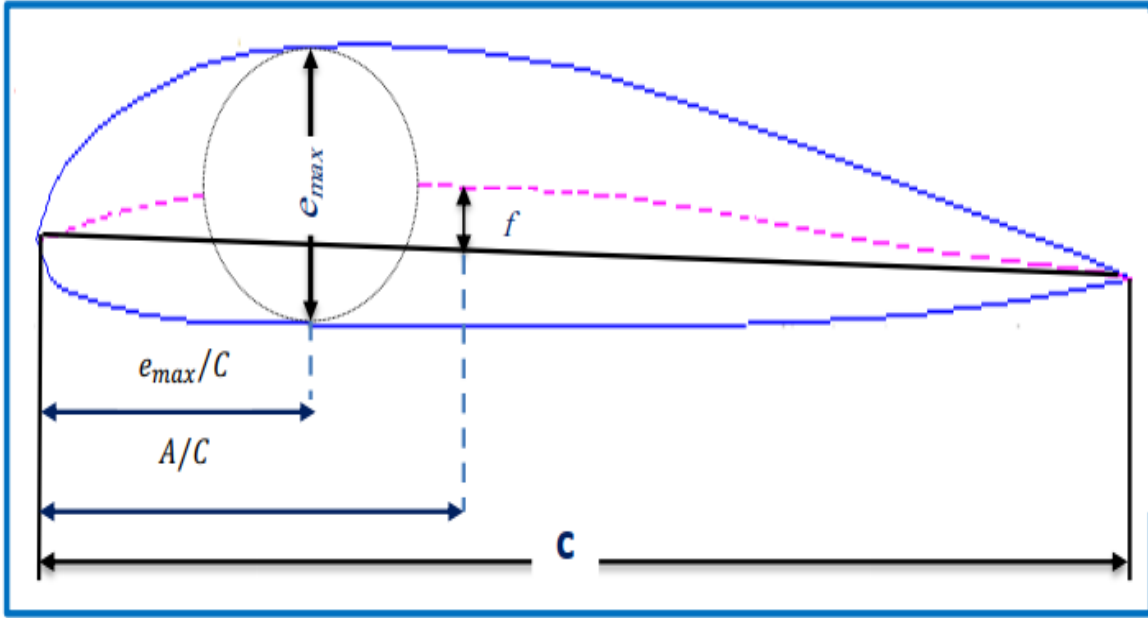
❖ $NACA$: اسم الصانع.

❖ X : القيمة القصوى للتحذب النسبي للوتر حيث: $X = \frac{f_{mqx}}{c\%}$

❖ Y : يشير إلى موضع أكبر تحذب بالنسبة للوتر انطلاقا من رأس الجناح $\frac{A}{c}$

❖ XX : القيمة القصوى للسماك النسبي.

❖ ZZ : القيمة القصوى للسماك النسبي $\frac{e_{mqx}}{c}$



الشكل (21): موضع أكبر تحدب وأكبر سمك.

8.3 عائلات مقاطع الاجنحة المستعملة في العنفة الهوائية: [21]

الاجنحة المستعملة في العنفة الهوائية نوعان منها ما هو مستعمل في علم الطيران بصفة

عامة نذكر منها عائلة:

NACA63_4 xx ❖

NACA63_6 xx ❖

NACA64_4 xx ❖

وأخرى طورت خصيصا للعنفات الهوائية:

عائلة: FFA W – xxx ❖

عائلة: RisØ-A1- xxx ❖

عائلة: DU xx-W- xxx ❖

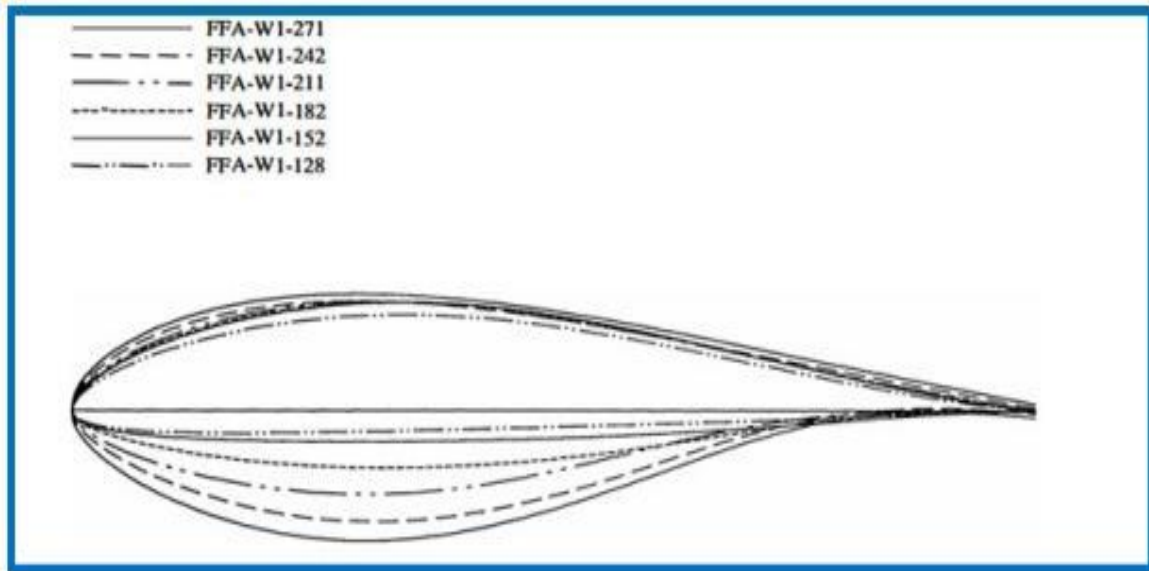
1.8.3 سلسلة مقاطع أجنحة S8xx:

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 للطاقت المتجددة في الولايات المتحدة الأمريكية .NREL

2.8.3 سلسلة مقاطع أجنحة FFA- W-xxx:

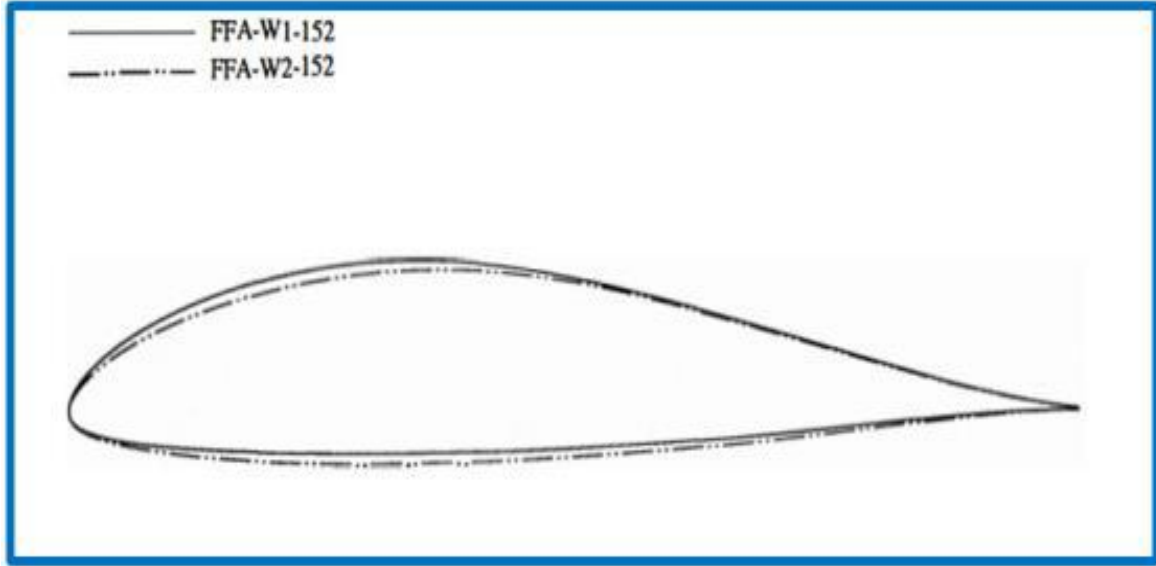
إن مقاطع الأجنحة من سلسلة FFA- W-xxx المستعملة في العنفات الهوائية ذات المحور الأفقي، المصممة من طرف معهد أبحاث الطيران السويدي (FFA). صممت في بادئ الأمر لعنفات أفقية المحور ذات أقطار تقدر ب 45 متر. هذه الأخيرة كانت تعمل عند نسبة ثابتة لسرعة حافة الأجنحة، كما يمكن التحكم فيها بتوجيه الحجرة المعلقة حسب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

❖ السلسلة الأولى FFA- W 1 -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.



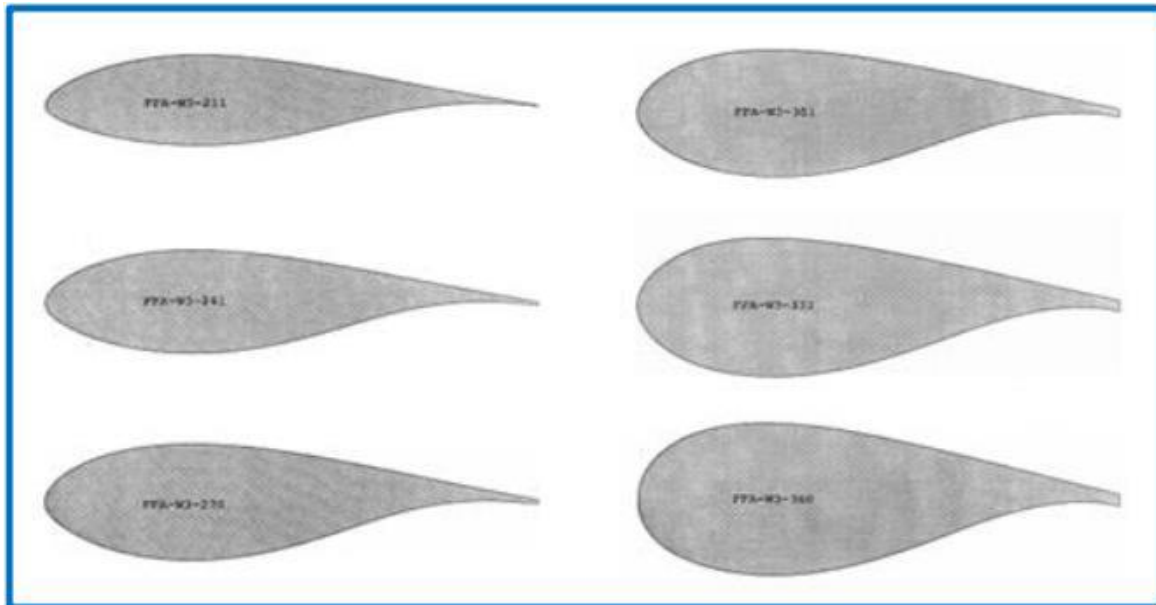
الشكل (22): سلسلة مقاطع الأجنحة FFA- W 1 -xxx.

❖ 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 (23): سلسلة مقاطع الأجنحة FFA-W2-xxx.

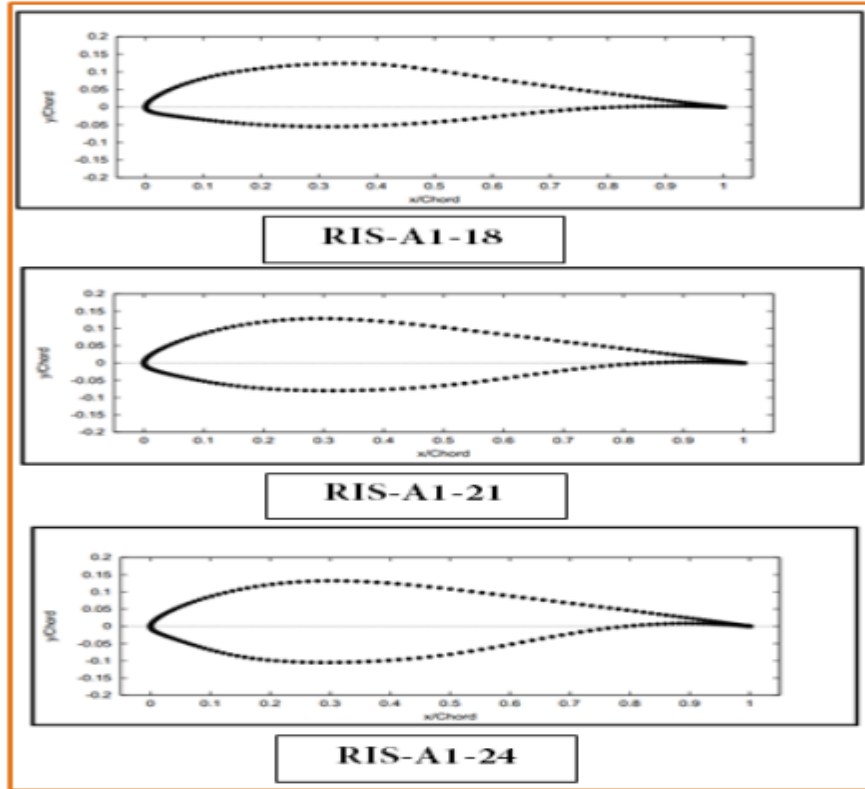
❖ السلسلة الثالثة FFA-W3-xxx: هذه السلسلة الأخيرة لديها تصميم لمقطع الجناح تتراوح فيه قيمة السمك النسبي ما بين 19.5% الى 36%. حيث تصميمها الهندسي الناتج عن ترقيق سمكها من 21.1% الى 19.5% يتوافق مع مقاطع أجنحة مما يزيد من تحسن العوامل الأيروديناميكية للجناح.



الشكل (24): سلسلة مقاطع الأجنحة FFA-W3-xxx.

3.8.3 سلسلة مقاطع أجنحة xxx – A1 – Risø:

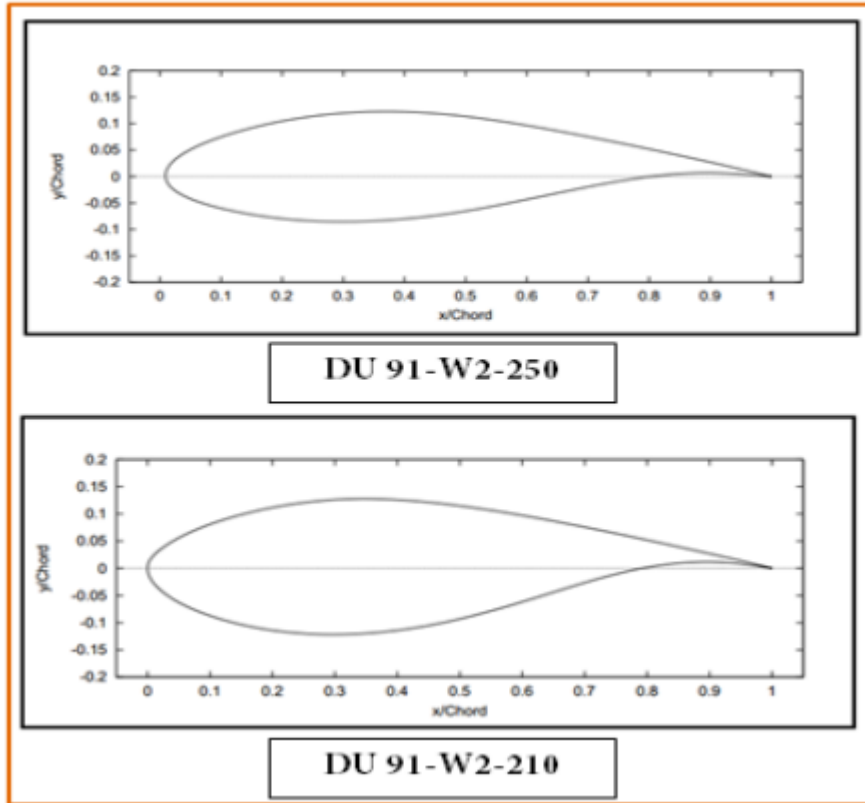
في هذه السلسلة من المقاطع عرضت ثلاث أنواع للتجارب والدراسة التحليلية، حيث طورت وحسنت من طرف المخبر الوطني الدنماركي Risø. فهي تمتاز بحافة انفلات نوعا ما حادة، كما نلاحظ في الشكل التالي:



الشكل (25): سلسلة مقاطع الأجنحة xxx – A1 – Risø.

4.8.3 سلسلة مقاطع الأجنحة xxx – W – DU:

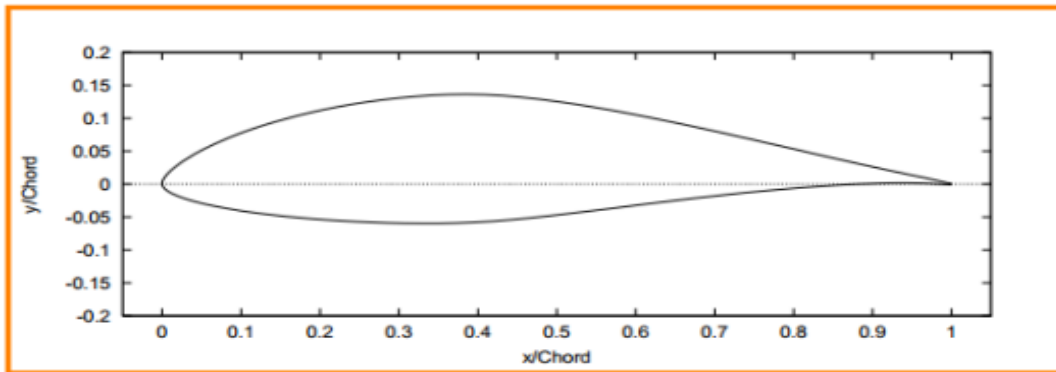
وهي المقاطع ذات سمك نسبي يقدر ب 25 %، 21 % على الترتيب، صممت من طرف (timmer) لغرض تحقيق جريان صفيحي مع معامل رفع يبلغ أقصى قيمة له حوالي 1.5.



الشكل (26): يمثل مقطع جناح xxx-W-xx.DU.

5.8.3 مقاطع الجناح V1-196-S196-FX66:

هذا المقطع ذو السمك النسبي 19% ، ذو الجريان الصحفي. صمم من قبل البروفيسور فورتمان (wortman)، وألتان (Althans) من جامعة شتوتغارت الألمانية. وهو نموذج من مجموعة سلسلة الأجنحة V1-196-S196-FX66 التي صممت خصيصا للطائرات الشراعية (بدون محرك) في بداية الأمر ثم عدلت وضبطت للاستخدام في العنفات الهوائية.



الشكل (27): مقطع الجناح V1-196-S196-FX66

الفصل الرابع

طريقته عنصري

البنجاح * كميته

الحركة *



الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

1.4 المقدمة:

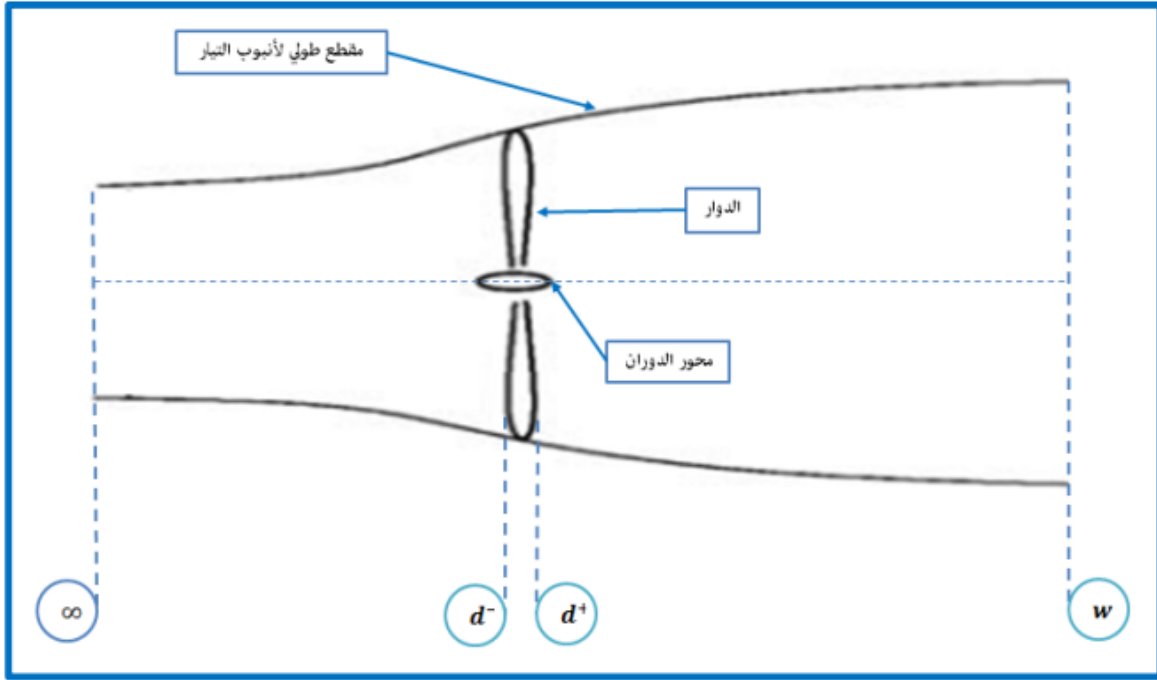
يعتمد إنتاج الطاقة الميكانيكية من الرياح بواسطة قدرة العنفات على امتصاص الطاقة عن طريق الجناح الذي يتفاعل مع الرياح. لقد أظهرت التجارب أن الجوانب الرئيسية التي تحدد أداء عنفة الرياح هي متوسط إنتاج الطاقة و متوسط الأحمال التي تكون بدلالة القوة الديناميكية الهوائية المتولدة، هذه الأخيرة يمكن أن تخضع لتغيرات كبيرة من خلال تأثير الاضطرابات مما يؤثر على أداء عنفة الرياح، لذلك وجب القيام بالدراسة الديناميكية الهوائية لعنفة الرياح لما لها من أهمية في تصميم عنصر الجناح لتحديد الحجم المثالي و الحصول على القدرة المرغوبة من خلال نظرية كمية الحركة- لعنصر الجناح (BEM) التي تعطي العلاقة بين تدفق الهواء عبر العنفة من جهة و القوى المتولدة على عنصر الجناح . هذه الاعتبارات تجعل من الممكن تحديد المعاملات التي تؤثر على شكل الجناح وتعطي مستوى أداء عنفة الرياح.

2.4 طريقة عنصر الجناح -كمية الحركة: [22]

في هذا العمل يتم استخدام نظريتين في الديناميك الهوائية فالنظرية الأولى هي نظرية كمية الحركة والذي يتم من خلاله دراسة لأنبوب التيار المار عبر الدوار وذلك بافتراض أن الدوار قرص نفوذ يتم على مستواه دراسة توازن العزوم والقوى الأيروديناميكية في الإتجاه المحوري والزواوي، أما النظرية الثانية فتمثل في نظرية عنصر الجناح والتي تهتم أيضا بدراسة تحليلية للقوى والعزوم الأيروديناميكية على الجزء العنصري من الجناح.

1.2.4 نظرية كمية الحركة:

أسس العالم بيتر النظرية العالمية لآلات الرياح ذو المحور الأفقي في معهد غوتنغن في ألمانيا سنة 1920، حيث تركز على ثلاث معادلات، كمية الحركة الخطية، الطاقة، الهدف من تطبيقها هو حساب الاستطاعة P وقوة الدفع T (أو معامل الاستطاعة C_p ومعامل الدفع C_T).



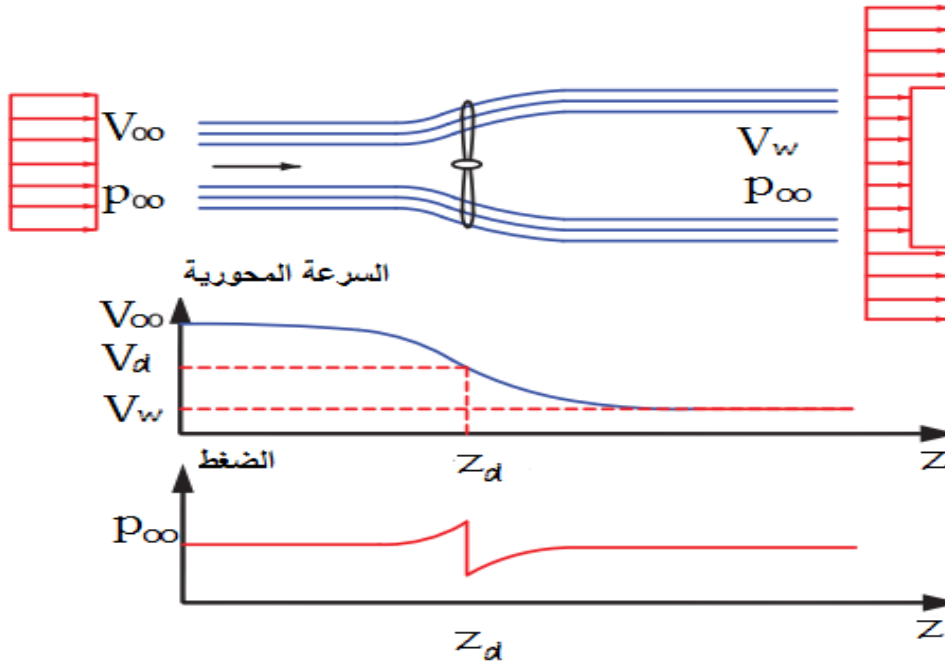
الشكل (28): المقطع الطولي لأنبوب التيار

- ∞: مدخل أنبوب التيار. ✓
- w: مخرج أنبوب التيار. ✓
- d: القرص. disque. ✓
- d⁺: بداية الدوار. ✓
- d⁻: نهاية الدوار. ✓
- فرضيات المسألة:
- ❖ الجريان دائم.
- ❖ الجريان غير قابل للانضغاط.
- ❖ الجريان مثالي.
- ❖ الجريان ذو تناظر محوري.

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

- ❖ سمك القرص مهمل ونفاذيته لا نهائية.
 - ❖ جريان أحادي البعد في الإتجاه المحوري.
 - ❖ السرعة والضغط منتظمي التوزيع عبر سطح العبور.
 - ❖ لا وجود للحركة الدورانية في منطقة الأثر الذيلي.
 - ❖ الضغط الساكن في المنطقتين القبلية والبعدية يساوي الضغط الجوي P_{atm} .
 - ❖ العجلة عبارة عن قرص فاعل له عدد لا متناه من الأجنحة.
 - ❖ السرعة تتغير بصفة مستمرة عبر الدوار أما الضغط فيحدث له تغيرا فجائيا.
- 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، وسقوطه عبر العنفة من القيمة p_{d-} إلى القيمة p_{d+} ، وبعد ذلك يرتفع باستمرار لمستوى الضغط الجوي p_{∞} .



الشكل (29): سلوك الضغط والسرعة المحورية

معادلة برنولي: 

تصف معادلة برنولي الأشكال المختلفة للطاقة الموجودة في تدفق السوائل حيث تكون الطاقة الكلية ثابتة، أي عندما لا ينقل السائل أي طاقة إلى كيان آخر مثل الدوار، تتكون الطاقة الكلية من طاقة الضغط الساكن وطاقة الكامنة والطاقة الحركية. رياضياً، لدينا التعبير التالي:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + P + \rho gh = const$$

ρ هي كثافة السائل، v هي سرعة السائل على طول الانسياب، P هي طاقة الضغط الساكن، g هي التسارع بسبب الجاذبية، و h هو الارتفاع عن سطح الأرض، في هذا التحليل، الطاقة الداخلية لا تتغير أثناء تدفق المائع من اليسار إلى اليمين ومنه:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + P = const$$

بتطبيق معادلة برنولي على فرضيات المسألة يصبح لدينا:

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

$$P_{d^+} + \frac{1}{2}\rho v_{d^+}^2 = P_w + \frac{1}{2}\rho v_w^2$$

لدينا: $P_w = P_{\infty}$

$$P_{d^-} + \frac{1}{2}\rho v_{d^-}^2 = P_{\infty} + \frac{1}{2}\rho v_w^2 \quad (2) \quad \text{ومنه:}$$

بالجمع بين المعادلتين (1) و (2) نتحصل على ما يلي:

$$\Delta P = P_{d^-} - P_{d^+} = \frac{1}{2}\rho(v_{\infty}^2 - v_w^2)$$

معادلات الإنحفاظ: 

انطلاقاً من نظرية النقل لرينولدز يتم العمل على صياغة معادلات الإنحفاظ المتعلقة بحركة الموائع والتي تتمثل في:

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

➤ معادلة الاستمرارية ومبدأ إنحفاظ الكتلة .

➤ معادلة كمية الحركة.

➤ معادلة الطاقة.

➤ معادلة إنحفاظ عزم كمية الحركة.

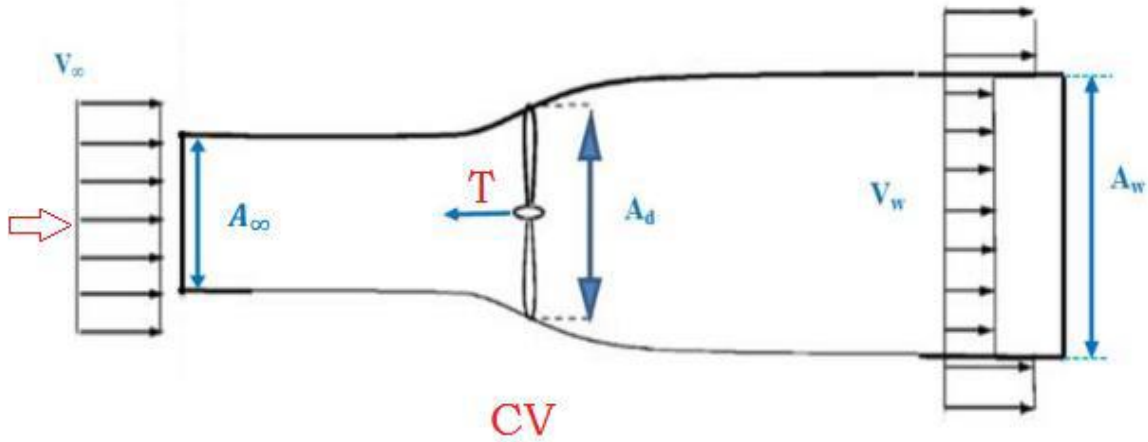
باستعمال معادلة النقل مع اختيار حجم المراقبة المناسب المبين في الشكل أدناه:

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

حيث:

B_{sys} : الكمية المحفوظة للجلمة.

$b = B_{sys} / M_{sys}$: الكمية المحفوظة للجلمة المستقلة عن الكتلة.



الشكل (30): حجم المراقبة

➤ معادلة انحفاظ الكتلة (Equation de conservation de masse):

وتسمى كذلك بمعادلة الاستمرارية والتي تعبر عن انحفاظ الكتلة وتعني أن تراكم المادة في حجم المراقبة يساوي المجموع الجبري للتدفقات الكتلية التي تخترق حدود هذا الحجم، فنجد في هذه الحالة أنه لدينا:

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

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

وبما أن الجريان دائم فإن:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_{vc} b \rho dV = 0 \quad (5)$$

وبما أن الكتلة محفوظة فإن: $\frac{dB_{sys}}{dt} = 0$ المعادلة (4) تصبح على الشكل التالي

$$\iint_{sc} b \rho \vec{V} d\vec{A} = 0 \quad (6)$$

المائع لا يخترق السطح الجانبي لأنبوب التيار أي $SC = A_{\infty} + A_w$ ومنه فإن المعادلة (6) تكتب كالتالي:

$$\int_{A_{\infty}} \rho \vec{V} d\vec{A} + \int_{A_w} \rho \vec{V} d\vec{A} = 0 \quad (7)$$

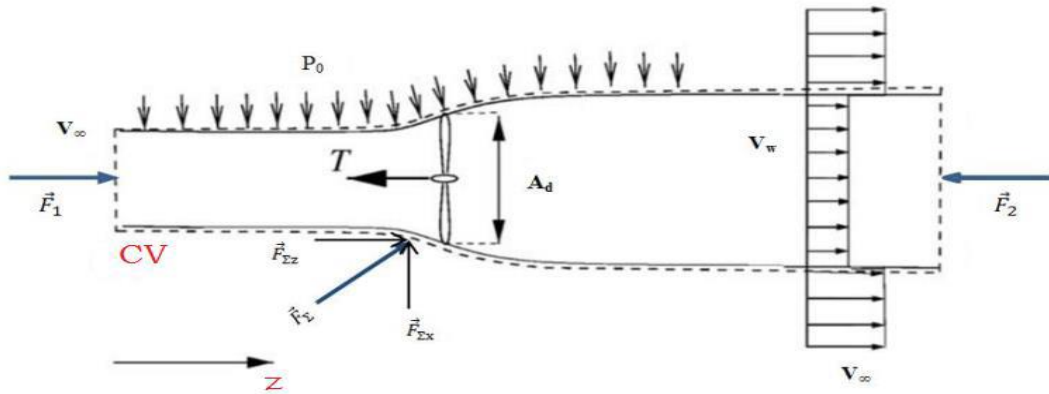
السرعة والكتلة الحجمية منتزمتي التوزيع على سطح المراقبة عند مدخل ومخرج أنبوب التيار، وشعاع السرعة موازي لشعاع سطحي الدخول والخروج ومنه تصبح المعادلة (7) كالتالي:

$$\rho_w V_w A_w = \rho_{\infty} V_{\infty} A_{\infty} \quad (8)$$

الجريان غير قابل لانضغاط $\rho = \rho_{\infty} = \rho_w$ ومنه تصبح معادلة إنحفاظ الكتلة على الشكل النهائي:

$$V_w A_w = V_{\infty} A_{\infty} \quad (9)$$

معادلة كمية الحركة: 



الشكل (31): القوى المطبقة على حجم المراقبة

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

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.

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

ومنه 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 والتي تتمثل في قوى اللزوجة \vec{F}_{vis} وقوى سطحية ناظرية التي تتمثل في قوى الضغط \vec{F}_p ، وقوة رد فعل العنفة \vec{T}

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

القوى الحجمية \vec{F}_v مهمة لان السائل غير ثقالي والقوى السطحية تساوي $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_\Sigma$ ومنه نكتب:

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

حيث:

\vec{F}_1 : تمثل قوى الضغط المطبقة على سطح مدخل أنبوب التيار وهي مع الإتجاه المحور (OZ).

\vec{F}_2 : تمثل قوى الضغط المطبقة على سطح مخرج أنبوب التيار وهي عكس الإتجاه المحور (OZ).

\vec{F}_Σ : تمثل محصلة قوى الضغط المطبقة على السطح الجانبي لأنبوب التيار وتتكون من مركبتين $F_{\Sigma Z}$ في الإتجاه المحوري (OZ) ومركبة أخرى $F_{\Sigma X}$ في الإتجاه المحوري (OX).

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

\vec{T} : قوة رد فعل الدوار في الإتجاه المحوري.

ومنه يمكن كتابة المعادلة من الشكل التالي:

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

بعد تبسيط المعادلة (12) تصبح من الشكل:

$$\sum F_{ext/z} = -T \quad (13)$$

ولدينا:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_{vc} \vec{V} \rho dV = 0 \quad (14)$$

يبقى التكامل على سطح المراقبة:

$$\iint_{sc} \vec{V} \rho \vec{V} d\vec{A} = \iint_{A_{\infty}} \vec{V} \rho \vec{V} d\vec{A} + \iint_{A_w} \vec{V} \rho \vec{V} d\vec{A} \quad (15)$$

إذن نتحصل على المعادلة التالية:

$$-\rho_{\infty}V_{\infty}^2A_{\infty} + \rho_wV_w^2A_w = -T \quad (16)$$

لدينا من المعادلات السابقة:

$$\rho_wV_wA_w = \rho_{\infty}V_{\infty}A_{\infty} = \dot{m}$$

ومنه:

$$T = \dot{m}(V_{\infty} - V_w) \quad (17)$$

ومن جهة أخرى السقوط في الضغط عبر الدوار هو الذي ينشأ قوة رد الفعل، ونكتب:

$$T = \Delta P A_d = (P_{d^-} - P_{d^+}) A_d \quad (18)$$

نعوض المعادلة (3) في المعادلة (18) نجد:

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

$$T = \frac{1}{2} A_d \rho (V_\infty^2 - V_w^2) \quad (19)$$

ومن (17) و(19):

$$\dot{m}(V_\infty - V_w) = \frac{1}{2} A_d \rho (V_\infty^2 - V_w^2)$$

حيث:

$$\dot{m} = \rho V_d A_d$$

نتحصل على العلاقة التالية:

$$V_d = \frac{1}{2} (V_\infty + V_w) \quad (19)$$

نعرف ما يسمى بمعامل التحريض المحوري أو التداخل المحوري والذي يمثل مقدار تباطؤ الجريان وفق الإتجاه المحوري:

$$a = \frac{V_\infty - V_d}{V_\infty} = 1 - \frac{V_d}{V_\infty} \quad (20)$$

من المعادلتين (19) و(20) نتحصل على:

* سرعة الهواء عند القرص بدلالة a :

$$V_d = V_\infty (1 - a) \quad (21)$$

* سرعة الهواء في المنطقة البعيدة للأثر الذيلي بدلالة a :

$$V_w = V_\infty (1 - 2a) \quad (22)$$

من فرضيات المسألة يجب أن تكون السرعة V_w دائما أكبر من الصفر ($V_w > 0$) حتى لا يكون هناك جريان عكسي أي لابد للمعامل a أن يكون محصور بين $0 < a < 0.5$.

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

معادلة انحفاظ الطاقة (équation de conservation de l'énergie) :

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

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

ومنه تكتب معادلة النقل لرينولدز (4) على الشكل:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{vc} \rho e dV + \iint_{sc} \rho e \vec{V} d\vec{A} \quad (23)$$

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

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

لدينا: $\frac{\partial}{\partial t} \iiint_{vc} \rho e dV = 0$ والجملة معزولة حراريا $\dot{Q} = 0$ أي لا يوجد تبادل حراري

بين

الوسط الخارجي والنظام (حجم المراقبة) تصبح المعادلة (23) من الشكل:

$$-\dot{W} = \iint_{sc} \rho e \vec{V} d\vec{A} \quad (24)$$

لدينا:

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

u : الطاقة الداخلية (وتكون معدومة لأن درجة الحرارة ثابتة).

$\frac{1}{2} v^2$: الطاقة الحركية

gz : الطاقة الثقالية (وهي أيضا معدومة وذلك بفرض مركز الدوار هو مرجع الدراسة)

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

\dot{W}_s : يمثل محور العنفة ونرمز له أيضا ب P

\dot{W}_p : يمثل الاستطاعة المستخرجة من المائع وتعطى بالعلاقة

$$\dot{W}_p = \iint_{sc} p \vec{V} d\vec{A}$$

بعد إجراء التكامل تصبح من الشكل $\dot{W}_p = p_w V_w A_w - p_\infty V_\infty A_\infty = 0$

من المعادلات السابقة وبعد التبسيط يمكن كتابة المعادلة (24) من الشكل التالي:

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

بما أن السرعة والكتلة الحجمية منتزمتي التوزيع على سطحي المراقبة ومنه:

$$-\dot{W}_s = -\frac{1}{2} \rho_\infty V_\infty^3 A_\infty + \frac{1}{2} \rho_w V_w^3 A_w \quad (26)$$

و $\dot{W}_s = P$ فان عبارة الاستطاعة تصبح كما يلي:

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} (V_\infty^2 - V_w^2) \quad \text{أو} \quad P = T \cdot V_d \quad (27)$$

عبارة كل من الاستطاعة ورد فعل الدوار بدلالة معامل التحريض المحوري كالتالي:

$$P = 2 \rho_\infty V_\infty^3 A_d a (1 - a)^2 \quad (27)$$

$$T = 2 \rho_\infty V_\infty^3 A_d a (1 - a) \quad (28)$$

يعرف معامل الاستطاعة على أنه النسبة بين إستطاعه الدوار P والاستطاعة الأعظمية

P_{max} (وهي الاستطاعة الكلية للهواء قبل الدخول للدوار) يكتب هذا المعامل من الشكل:

$$C_p = \frac{P}{P_{max}} = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^3 A_d} \Rightarrow$$

$$C_p = 4a(1 - a)^2 \quad (29)$$

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

إن القيمة القصوى لمعامل الاستطاعة القصوى C_p تدعى بحد بيتز، وللحصول على هذه القيمة نقوم باشتقاق هذا المعامل بالنسبة لمعامل التحريض المحوري، لنستنتج رياضياً أعلى قيمة لـ C_p :

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

ومنه أعلى قيمة لـ C_p عند $a = \frac{1}{3}$ هي:

$$C_p = \frac{16}{27} \approx 0.593$$

إن معامل الاستطاعة الأعظمي لعنفة مثالية هو تقريباً 59.3%، أما عملياً المعامل مستحيل أن يصل إلى هذه القيمة نتيجة للأسباب التالية:

✓ لسريان الهواء مركبة دورانية تؤثر على دوران الدوار.

✓ لا يوجد في الحقيقة سريان دون احتكاك عكس فرضية المسألة.

علاقة معامل الدفع C_T تكتب على الشكل التالي:

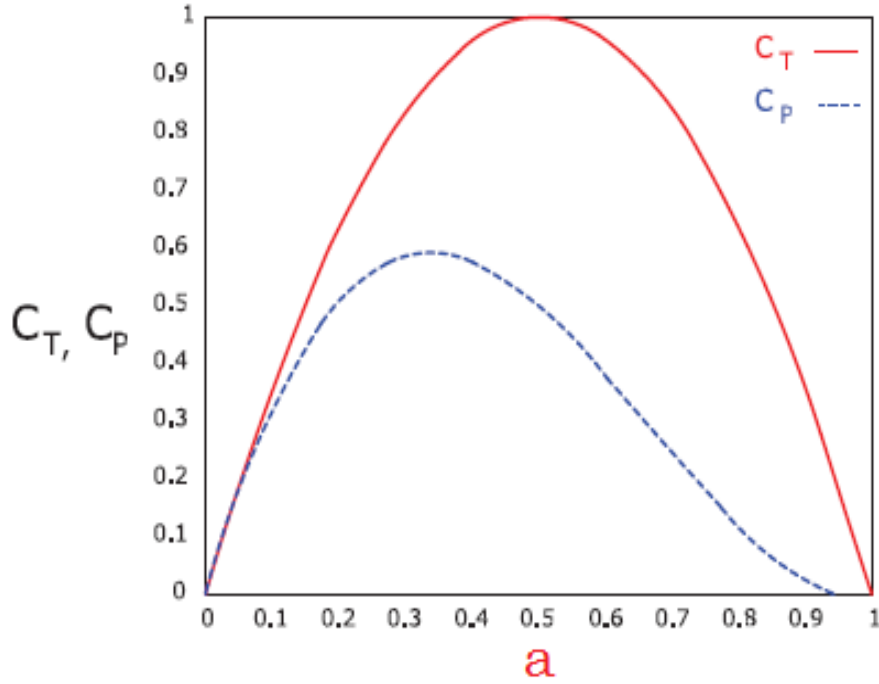
$$C_T = \frac{T}{T_{max}} = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho A_d V_\infty^2} = 4a(1-a)$$

نفس الشيء بالنسبة لقوة الدفع T :

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


الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

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

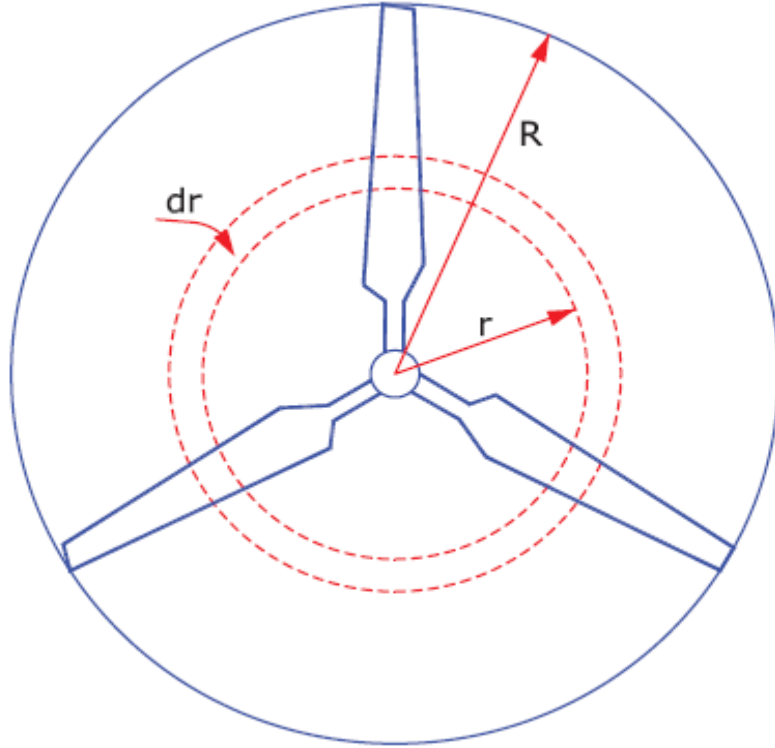


الشكل (32): تغيير معامل C_p و C_T بـ a

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

معادلة عزم كمية الحركة وقانون 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.



الشكل (33): دوار العنفة الهوائية

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

ملاحظة :

حجم المراقبة عبارة على أنبوب حلقي سمكه dr ونصف قطره r كما هو موضح

في الشكل:

$$\sum \vec{M} = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{vc} \vec{r} \wedge \vec{V} \rho d\forall + \iint_{sc} \vec{r} \wedge \vec{V} \rho \vec{V} d\vec{A} \quad (30)$$

بما أن الجريان دائم والمعادلة الأخيرة تمثل مجموع عزوم القوى المؤثرة على سطح المراقبة

أي:

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

$$\sum \vec{M} = \iint_{sc} \vec{r} \wedge \vec{V} \rho \vec{V} d\vec{A} \quad (31)$$

لدينا:

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

$$\vec{V} d\vec{A} = V_z 2\pi r dr \quad \text{و} \quad \vec{r} \wedge \vec{V} = -(rV_r)\vec{e}_z + (rV_\theta)\vec{e}_z \quad \text{بما أن}$$

بالتعويض في العلاقة (31)

تكتب العلاقة التالية من الشكل:

$$d\mathcal{M} = \rho r V_\theta V_z 2\pi r dr \vec{e}_z|_{A_\infty} + \rho r V_\theta V_z 2\pi r dr \vec{e}_z|_{A_w} \quad (32)$$

بما أن الجريان عند المدخل ليس له سرعة دورانية وبعد الإسقاط على (OZ) نجد:

$$d\mathcal{M} = \rho r V_\theta V_z 2\pi r dr, V_\theta = w_d r \quad (33)$$

V_θ : تمثل السرعة المماسية.

w_d : تمثل السرعة الزاوية للهواء على مستوى الدوار و تساوي متوسط السرعتين قبل و بعد الدوار أي

$$w_d = \frac{w_{d^+} + w_{d^-}}{2} \quad \text{: حسب فرضيات المسألة الجريان قبل الدوار لا يخضع للحركة الدورانية وعليه}$$

$w_{d^-} = 0$: لتصبح عبارة السرعة الزاوية للهواء على مستوى الدوار كما يلي:

$$w_d = \frac{w_{d^+}}{2}$$

وهنا نعرف معامل التحريض لسرعة الزاوية بأنه النسبة بين Ω السرعة الزاوية للدوار w_d

والسرعة الزاوية للهواء عبر الدوار حيث:

$$\acute{\alpha} = \frac{w_d}{\Omega} \quad (34)$$

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

بالتعويض مع المعادلات السابقة نجد أن:

$$V_{\theta} = 2r\Omega a \quad (35)$$

مما سبق لدينا $V_z = V_d = V_{\infty}(1 - a)$ وبتعويض العلاقة (34) و (35) في (33)

نتحصل على

العلاقة التالي:

$$d\mathcal{M} = 4\rho r^3 V_{\infty}(1 - a)\Omega a \pi dr \quad (36)$$

وتمثل هذه العبارة العزم العنصري على طول الجناح بدلالة معاملي التحريض المحوري

والزاوي.

2.2.4 نظرية عنصر الجناح:

يعتبر فرود (Froude) أول من وضع نظرية عنصر الجناح لحساب الحمولة الأيروديناميكية

المسلطة على الدوار فهذه نظرية تمكننا من حساب القوة الأيروديناميكية المؤثرة على الجناح وذلك

انطلاقاً من:

☑ هندسة الجناح (طول الوتر وزاوية توجيه المقاطع الأيروديناميكية على طول الجناح) .

☑ الكفاءة الأيروديناميكية للمقاطع ثنائية البعد عند مختلف المحطات القطرية (C_D, C_L) .

☑ سرعة الجريان عند الدوار .

عموماً تستعمل هذه النظرية مقرونة بنظرية كمية الحركة التي تناولناها سابقاً.

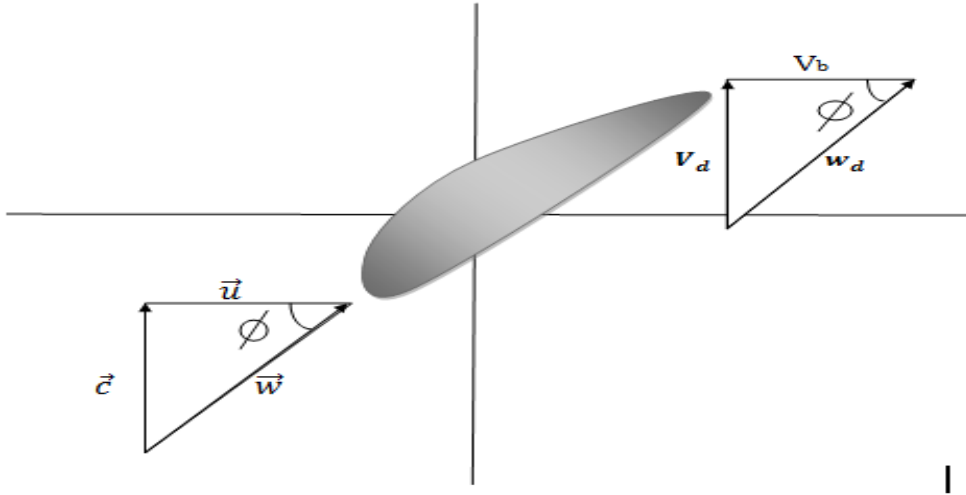
تحليل عنصر الجناح:

يتمثل عنصر الجناح في قطعة أو جزء من الجناح يقع عند المحطة القطرية r ، ويتميز بسمك

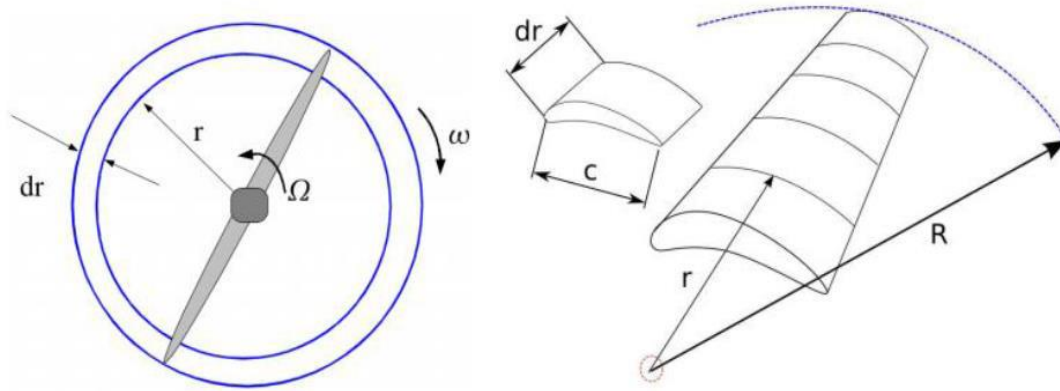
dr والوتر $c(r)$ ، تتم الدراسة في المعلم النسبي المرتبط بعنصر الجناح حيث نرسم السرعة النسبية

ب \vec{w} أو \vec{w}_d التي بدورها تعبر عن السرعة المطلقة \vec{C} أو المركبة الموازية للدوار وتعبر عن

سرعة الجر أو سرعة دوران العجلة \vec{u} أو \vec{V}_b .



الشكل (34): عنصر الجناح ومركبات السرعة

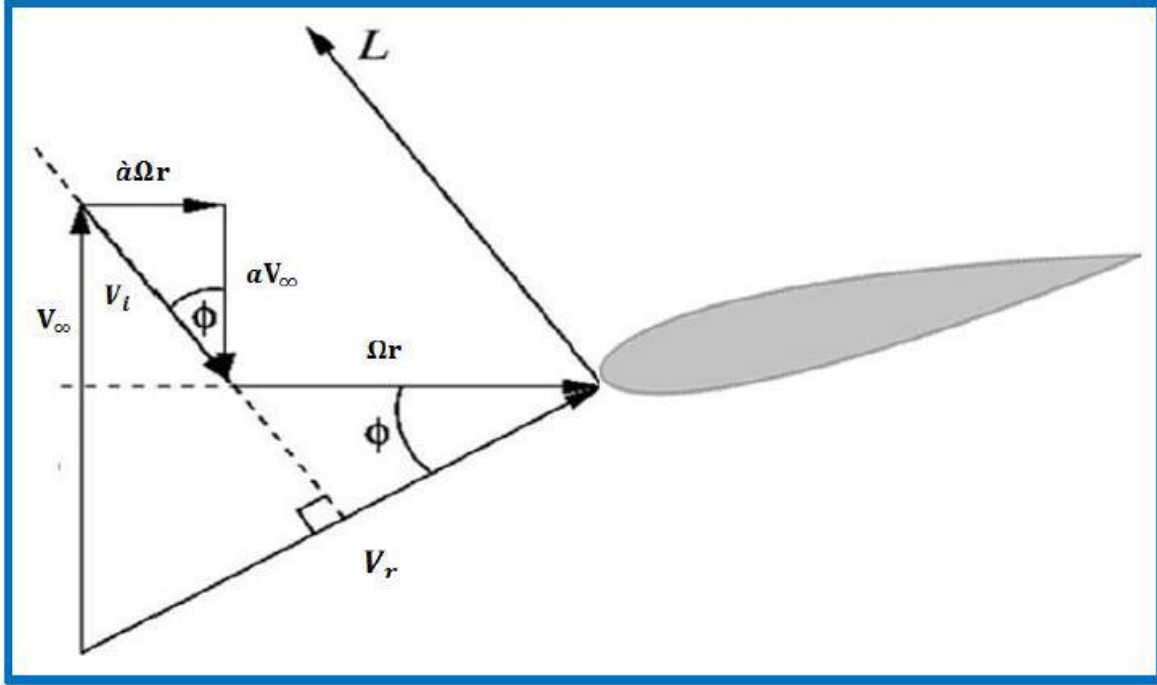


الشكل (35): تقسيم الجناح إلى قطع مع إبراز حلقة وهمية تكونها هذه القطعة عند دوران الجناح.

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

$$V_{\theta} = r\Omega + rW_d \quad (37)$$

الشكل الموالي يبين مثلثات السرعة بعد إدراج السرعة التحريضية للهواء:



الشكل (36): إدراج مركبات السرعة التحريضية ضمن مثلث السرعة .

V_r : تمثل السرعة النسبية للهواء و هي محصلة السرعة المحورية و السرعة المماسية.

من العلاقتين (34) و (37) نجد:

$$V_\theta = r\Omega + r\dot{a}\Omega = r\Omega(1 + \dot{a}) \quad (38)$$

من الشكل السابق يمكننا استنتاج العلاقات التالية:

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

ومنه:

$$V_{rel} = \frac{V_\infty(1-a)}{\sin \phi} = \frac{r\Omega(1+\dot{a})}{\cos \phi} \quad (39)$$

$$V_{rel}^2 = [V_\infty(1-a)]^2 + [r\Omega(1+\dot{a})]^2 \quad (40)$$

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

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

نقوم الآن بحساب قوى الرفع والاعاقة على كل عنصر من الجناح dr مع قيم المعاملات الأيروديناميكية C_D و C_L

المتحصل عليهما تجريبيا وذلك بتغيير قيمة زاوية الاقحام وحسابهما في كل مرة هذه البيانات التجريبية تدعى أقطاب المقطع الأيروديناميكي (polaires d'un profile)، فنكتب:

$$d\vec{L} = \frac{1}{2} \rho V_{rel}^2 C_{N_B} C_L dr \vec{e}_L = dL \vec{e}_L \quad (41)$$

$$d\vec{D} = \frac{1}{2} \rho V_{rel}^2 C_{N_B} C_P dr \vec{e}_D = dD \vec{e}_D \quad (42)$$

حيث:

N_B : تمثل عدد الاجنحة للدوار.

C : الوتر الموضعي.

بعد إسقاط المركبتين F_Z و F_e على الاتجاه المحوري والمماسي نجد:

$$dF_Z = dL \cos \phi + dD \sin \phi \quad (43)$$

و

$$dF_e = dL \sin \phi - dD \cos \phi \quad (44)$$

وبتعويض كل من علاقة dL و dD في العلاقتين (43) و(44):

$$dF_Z = \frac{1}{2} \rho V_{rel}^2 C_{N_B} dr (C_L \cos \phi + C_P \sin \phi) \quad (45)$$

$$dF_e = \frac{1}{2} \rho V_{rel}^2 C_{N_B} dr (C_L \sin \phi - C_P \cos \phi) \quad (46)$$

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

العزم المطبق على عنصر الجناح من الجناح $d\mathcal{M}$ ببساطة هو القوة المماسية مضروبة في

نصف القطر r :

$$d\mathcal{M} = r dF_e = \frac{1}{2} \rho V_{rel}^2 r C_{N_B} dr (C_L \sin \phi - C_P \cos \phi) \quad (47)$$

بإدراج معامل الصلابة الموضعية $\sigma = \frac{C_{N_B}}{2\pi r}$ في العلاقتين (45) و (47) نجد:

$$dF_Z = \frac{1}{2} \rho V_{rel}^2 r \sigma dr (C_L \cos \phi + C_P \sin \phi) \quad (48)$$

$$d\mathcal{M} = r dF_e = \frac{1}{2} \rho V_{rel}^2 r^2 \sigma dr (C_L \sin \phi - C_P \cos \phi) \quad (49)$$

في كل من النظريتين السابقتين (نظرية كمية الحركة ونظرية عنصر الجناح) قمنا بالتعبير عن قوة الدفع والعزم في الاتجاهين الرئيسيين المحوري والمماسي بطريقتين مختلفتين، ونقوم الآن بإيجاد المساواة من أجل حل المسألة:

بقسمة العلاقة (27) على العلاقة (45) وبإدراج العلاقة (39) في العلاقة المتحصل عليها

نجد:

$$\frac{a}{1-a} = \frac{\sigma (C_L \cos \phi + C_P \sin \phi)}{4 \sin^2 \phi} \quad (50)$$

وبنفس الطريقة نقسم العلاقة (47) على العلاقة (36) وندرج العلاقة (39) في العلاقة

المتحصل عليها نجد:

$$\frac{\acute{a}}{1+\acute{a}} = \frac{\sigma (C_L \sin \phi - C_P \cos \phi)}{4 \sin \phi \cos \phi} \quad (51)$$

انطلاقاً من هاتين المعادلتين الأخيرتين يمكن حساب كل من a و \acute{a} :

$$a = \frac{1}{\frac{4 \sin^2 \phi}{C_n \sigma} + 1} \quad (52)$$

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

$$\dot{a} = \frac{1}{\frac{4 \sin \phi \cos \phi}{C_t \sigma} - 1} \quad (53)$$

حساب الخصائص الهندسية والأيروديناميكية المثلى للجناح: 

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

$$a = \frac{1}{\frac{4 \sin^2 \phi}{\sigma C_L \cos \phi} + 1} \quad (54)$$

$$\dot{a} = \frac{1}{\frac{4 \cos \phi}{C_L \sigma} - 1} \quad (55)$$

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:

$$P = TV_d = Tr \frac{V_d}{r} \quad (56)$$

وعليه يمكن كتابة عبارة الاستطاعة بدلالة العزم والسرعة الزاوية كالاتي:

$$P = \Omega \int_0^R d\mathcal{M} \quad (57)$$

وبتعويض عبارة العزم العنصري (36) في هذه الأخيرة نجد:

$$P = 2\pi\rho\Omega^2 V_\infty \int_0^R (1-a)\dot{a} r^3 dr \quad (58)$$

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

يمكننا أيضا كتابة معامل الاستطاعة كما يلي:

$$C_P = \frac{4\lambda^2}{R^2} \int_0^R (1-a)\dot{a} r^3 dr \quad (59)$$

λ : تمثل السرعة النوعية.

معامل الاستطاعة C_P بمعامل الاستطاعة K حيث:

$$K=(1-a)\dot{a} \quad (60)$$

نأخذ معامل الاستطاعة قيمته العظمى C_{Pmax} , عندما يأخذ المعامل K قيمته العظمى، وللحصول على هذه القيمة نقوم باشتقاق المعامل K بالنسبة للمعامل a ونقوم بمساواتها مع الصفر:

$$\frac{dK}{da} = 0$$

$$(1-a)\frac{\partial \dot{a}}{\partial a} = a \quad (61)$$

لدينا:

$$\tan \phi = \frac{V_\infty(1-a)}{r\Omega(1+\dot{a})} \quad \text{و} \quad \tan \phi = \frac{a\dot{\Omega}r}{aV_\infty} \quad (62)$$

$$\lambda_r^2 (1+\dot{a})\dot{a} = (1-a)a \quad (63)$$

حيث:

λ_r : تمثل السرعة النوعية الموضعية تتعلق بالموضع r .

باشتقاق العلاقة المتحصل عليها نجد:

$$(1+2\dot{a})\frac{\partial \dot{a}}{\partial a}\lambda_r^2 = (1-2a) \quad (64)$$

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

باستخراج القيمة $\frac{\partial \dot{a}}{\partial}$ من العلاقة (61) وتعويضها في العلاقة (64) نتحصل على العلاقة التالية:

$$\dot{a} = \frac{(1 - 3a)}{(4a - 1)} \quad (65)$$

هذه المعادلة الأخيرة تعطي علاقة بين a و \dot{a} لما يأخذ معامل الاستطاعة قيمته القصوى $C_{P \max}$

بتعويض العلاقة (65) في العلاقة (55) نتحصل على:

$$a = \frac{4 \cos \phi}{\sigma C_L + 12 \cos \phi} \quad (66)$$

بمساواة العلاقتين (66) و (54) نتحصل على معادلة من الدرجة الثانية بمتغير C_L :

$$(\sigma C_L)^2 + 8 \cos \phi \sigma C_L - 16 \sin^2 \phi = 0 \quad (67)$$

هذه المعادلة تقبل حلين على النحو التالي:

$$\sigma C_L = -4(\cos \phi + 1) \quad (68)$$

و

$$\sigma C_L = 4(1 - \cos \phi) \quad (69)$$

الحل الأول غير مقبول لأن $\sigma C_L < 0$

أما الحل الثاني يعطي علاقة الوتر المثالي على طول الجناح:

$$C(r) = \frac{8\pi r}{N_B C_L} (1 - \cos \phi) \quad (70)$$

من أجل الحصول على الزاوية المثلى ننتقل من المعادلة (62):

$$\tan \phi = \frac{(1 - a)}{\lambda_r (1 + \dot{a})} \quad (71)$$

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

بتعويض العلاقة (65) في هذه الأخيرة نجد:

$$\lambda_r = \frac{(4a - 1)(1 - a)}{a} \frac{1}{\tan \phi} \quad (72)$$

بتبسيط هذه العلاقة باستخدام العلاقات الجيبية نجد:

$$\lambda_r = \frac{\cos \phi + \cos 2\phi}{\sin \phi + \sin 2\phi} \quad (73)$$

$$\lambda_r = \frac{1}{\tan \frac{3}{2}\phi} \quad (74)$$

ومنه نتحصل على ϕ الزاوية المثلى بواسطة العلاقة التالية:

$$\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_r} \quad (75)$$

وزاوية الالتفاف β المثالية تعطى بالعلاقة التالية:

$$\beta = \phi - \alpha_{opt} \quad (76)$$

حيث α_{opt} تمثل زاوية الهجوم الموافقة للقيمة الأعظمية ل $(C_L/C_D)_{max}$ وتستخرج هذه القيمة من منحنى تغيرات معامل الرفع والإعاقة بدلالة زاوية الهجوم.

معامل التصحيح لبرانت "PRANDLT" للضياعات عند حافة الجناح:

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

$$f = \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left[\exp \left\{ - \frac{N_B/2 [1 - r/R]}{(r/R) \sin \phi} \right\} \right] \quad (77)$$

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

بإتباع نفس الخطوات السابقة يمكن إدراج معامل التصحيح f فنحصل على عبارة معاملي التحريض المحوري والمماسي كما يلي:

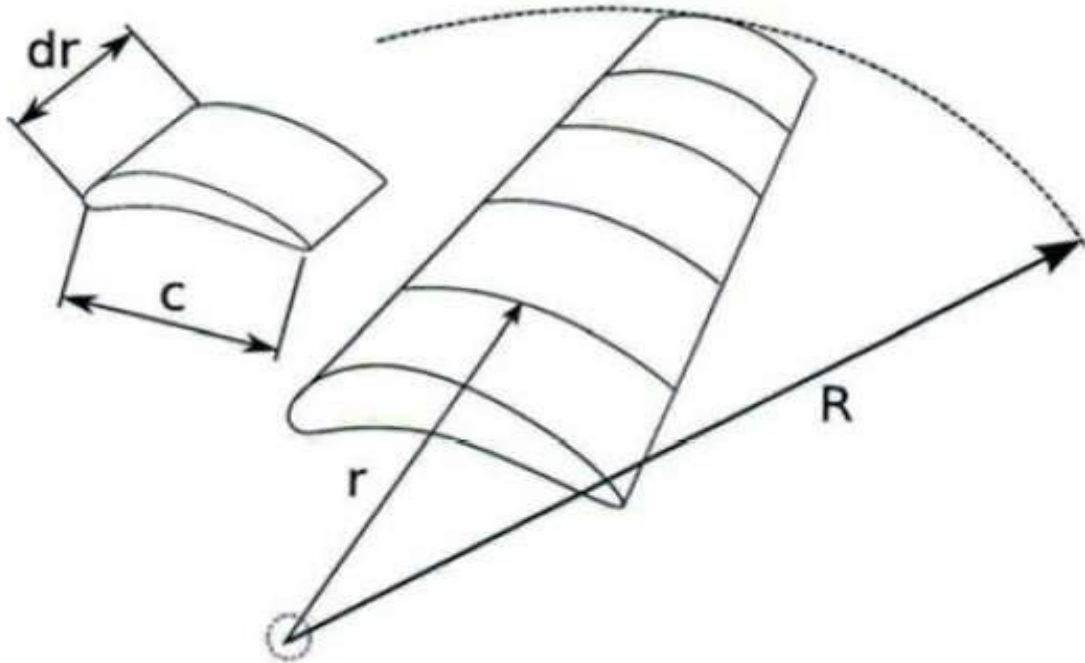
$$a = \frac{1}{\frac{4f \sin^2 \phi}{\sigma C_L \cos \phi} + 1} \quad (78)$$

و:

$$a' = \frac{1}{\frac{4f \cos \phi}{C_L \sigma} - 1} \quad (79)$$

3.4 تحديد المعادلات الهندسية لجناح عنفة الرياح:

من خلال المعادلات السابقة والتي توضح توزيع الزوايا وطول الوتر يكون حلها بشكل تكراري باعتبار الجناح لديها N مقطع كما هو موضح في الشكل 1.



الشكل (37): نموذج عنصر الجناح.

من خلال معاملات الجناح الوتر وزاوية الالتفاف لكل مقطع، من الضروري تحديد المقاطع المختلفة للجناح أي الإحداثيات الموافق لكل مقطع. للقيام بذلك تم إنشاء برنامج الفورتران الذي يجعل

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

من الممكن حساب كل تفاصيل المقطع الأيروديناميكي SD8000-089-88 فيعطي هذا البرنامج إحدائيات كل مقطع (الوتر C زاوية الالتفاف β والمسافة من المركز r).

❖ نأخذ البيانات التالية:

- طول قطر $R=0.5m$ للجناح.

- سرعة الرياح التصميمية $V_{design} = 6 \left(\frac{m}{s}\right)$.

- السرعة المحددة $\lambda = 5.5$.

- عدد الأجنحة $N=3$.

- الكتلة الحجمية $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$.

- المقطع الأيروديناميكي المستخدم SD8000-089-88.

1.3.4 تلخيص الخطوات:

تم تلخيص الخطوات التالية لحساب التوزيع الأمثل لطول الوتر وزاوية الالتفاف على طول الجناح:

1- تقسيم جناح العنفة الى $ne=10$ في الاتجاه القطري وحساب المحطات $r(ie)$.

2- حساب القيم المثلى لكل من C_{Lopt} و C_{Dopt} و α_{opt} من الإجراء الفرعي $perfo_{opt}$.

3- فتح حلقة لل Ω وحساب λ من العلاقة $\lambda = R_{tip} * \Omega / V_{inf}$.

4- فرض قيمتين ابتدائيتين لكل من $a = \frac{1}{3}$ و $\dot{a} = 0$.

5- حساب الزاوية \emptyset حيث $\emptyset = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_r}$.

6- حساب c و σ ومعامل التصحيح f .

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

$$-7 \quad \text{حساب المعاملين } a \text{ و } \dot{a}: \quad a = \frac{1}{\frac{4f \sin^2 \phi}{C_n \sigma} + 1} \quad \text{و} \quad \dot{a} = \frac{1}{\frac{4f \sin \phi \cos \phi}{C_t \sigma} - 1}$$

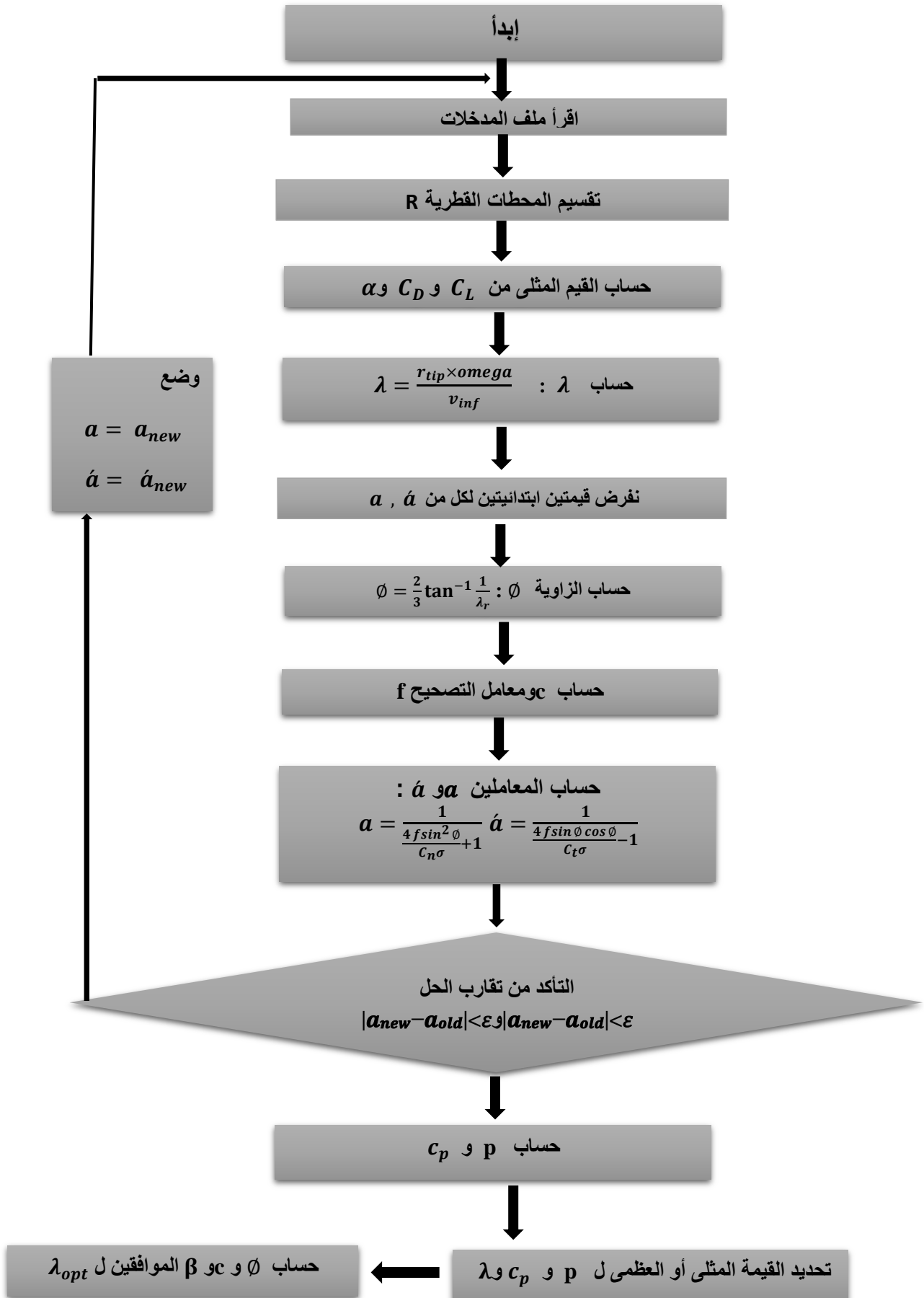
$$-8 \quad \text{التأكد من تقارب الحل عبر العلاقة التالية } |\mathbf{a}_{new} - \mathbf{a}_{old}| < \varepsilon \text{ و } |\dot{\mathbf{a}}_{new} - \dot{\mathbf{a}}_{old}| < \varepsilon$$

$$-9 \quad \text{إذا لم يتحقق الشرط نقوم بإعادة عملية الحساب بفرض } \mathbf{a}_{old} = \mathbf{a}_{new} \text{ و } \dot{\mathbf{a}}_{old} = \dot{\mathbf{a}}_{new}$$

$$-10 \quad \text{إذا تحقق الشرط حساب الخصائص الأيروديناميكية (P,T,M,Cp)}$$

$$-11 \quad \text{تحديد القيمة العظمى لكل من } \lambda_{max} \text{ و } C_{p_{max}} \text{ و } P_{max}$$

$$-12 \quad \text{حساب } \phi \text{ و } C \text{ و } \beta \text{ الموافقة لـ } \lambda_{max}$$



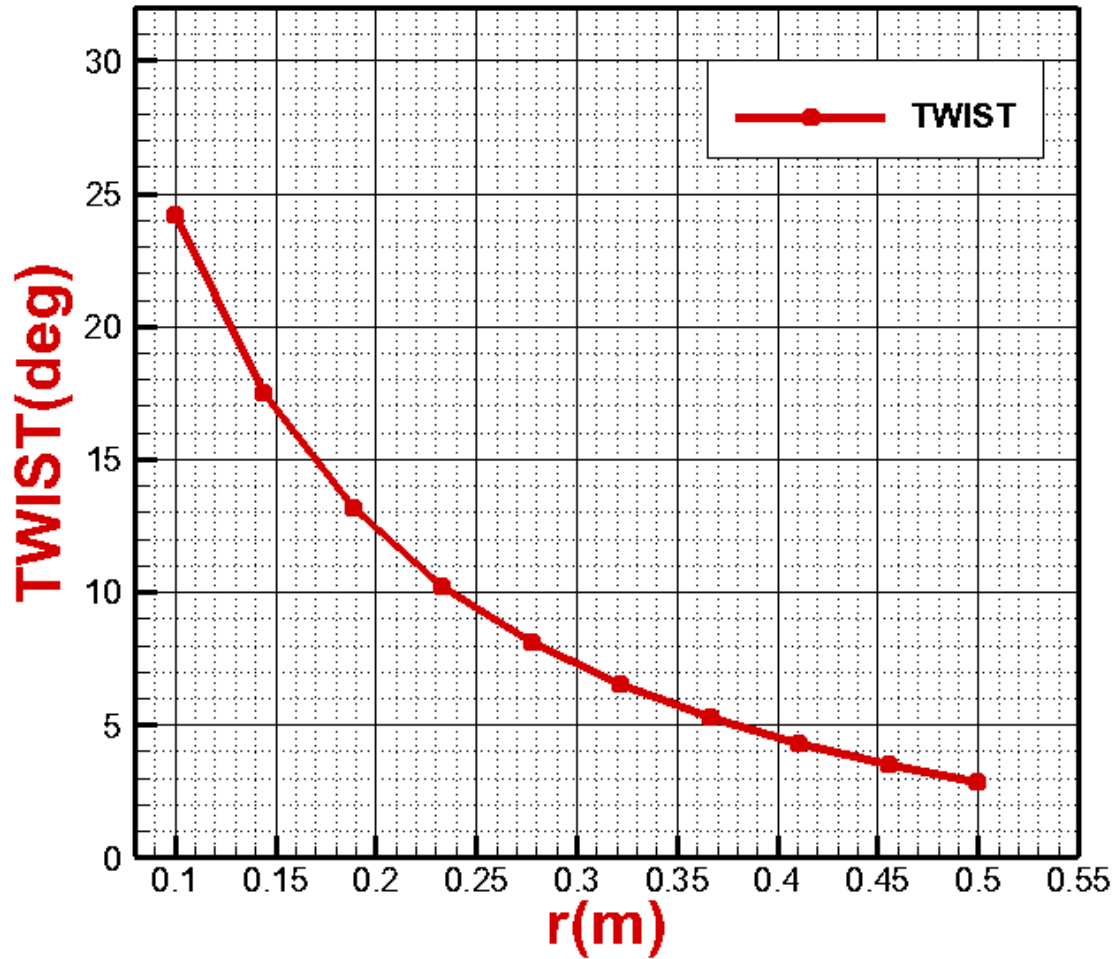
الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

✓ مناقشة نتائج الفورتران:

بعد إنشاء برنامج بلغة الفورتران وفقا للمخطط السهمي السابق تم رسم النتائج المتحصل عليها في الرسوم البيانية التالية:

❖ توزيع زاوية الالتفاف $\beta(r)$:

يوضح الشكل توزيع زاوية الالتفاف على طول الجناح لنموذج SD8000-089-88



الشكل (38): توزيع زاوية الالتفاف المثالية على طول الجناح للمقطع الأيروديناميكي SD8000-089-88

☑ نلاحظ أن تناقص تغير زاوية الالتفاف β من منطقة الجذر الى منطقة الطرف حيث تسجل أعلى قيمة لها عند المحطة الأولى وتسجل أدنى قيمة لها عند آخر محطة لها.

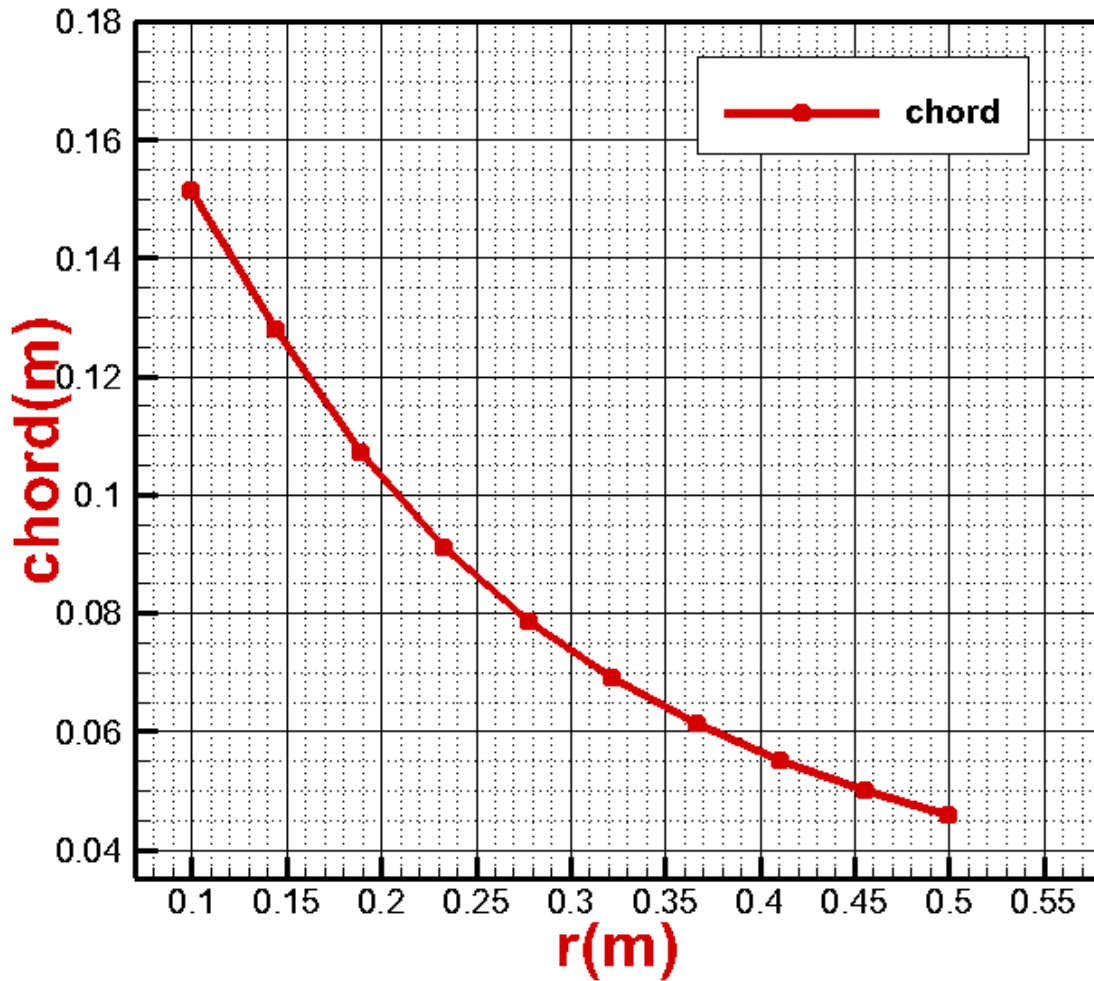
☑ التوزيع المحسوب لزاوية الالتفاف غير خطي.

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

❖ توزيع الوتر $C(r)$:

يوضح الشكل التالي توزيع الوتر على طول الجناح للمقطع الأيروديناميكي SD8000-

089-88



الشكل (39): توزيع الوتر المثالي على طول الجناح للمقطع الأيروديناميكي SD8000-089-

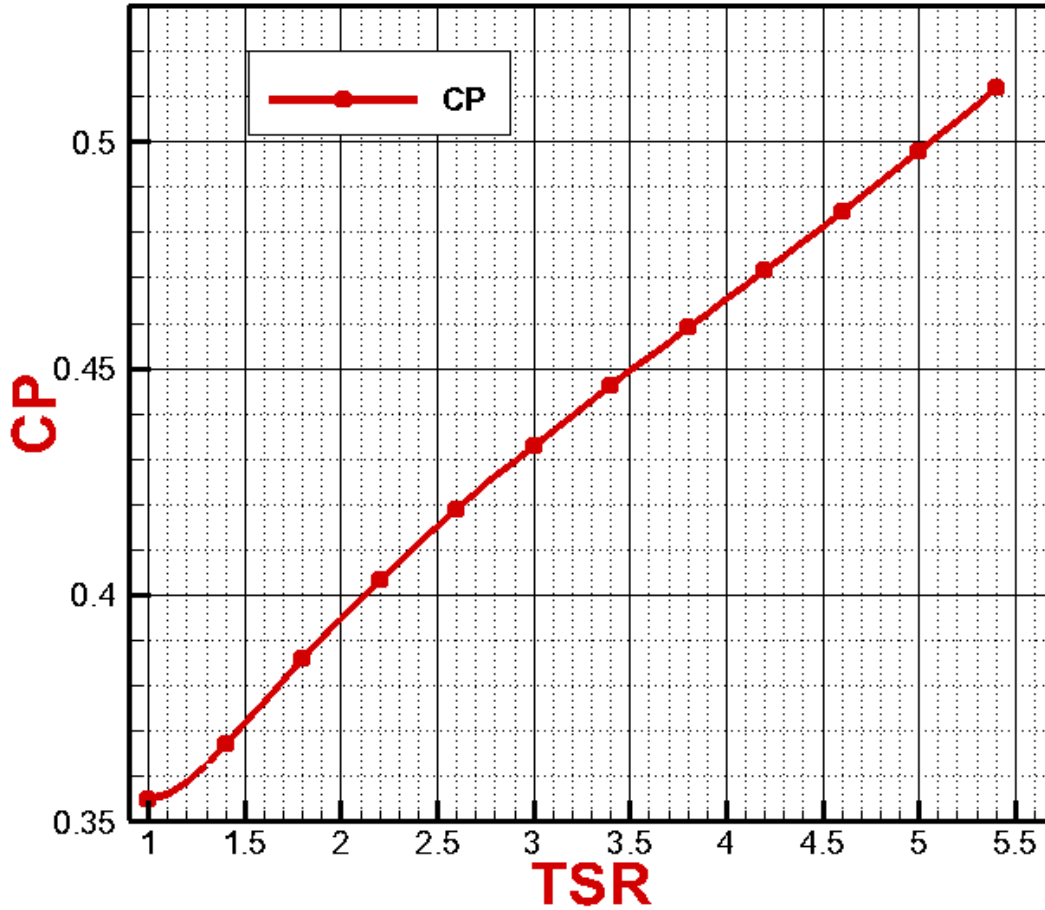
.88

❑ نلاحظ أن توزيع طول الوتر يكون متناقصاً من منطقة الجذر الى منطقة الطرف.

❑ التوزيع المحسوب لطول الوتر غير خطي.

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

❖ منحنى معامل الاستطاعة:



الشكل (40): منحنى معامل الاستطاعة بدلالة السرعة النسبية.

✓ نلاحظ أن هناك علاقة طردية بين معامل الاستطاعة C_p ونسبة سرعة الطرف في المجال [1.5.5] حيث نسجل أعلى قيمة عند 0.51530 حيث تكون تغيرات C_p شبه خطية.

4.4 حساب الاستطاعة المنتجة من الجناح:

➤ تلخيص الخطوات:

- 1- تقسيم جناح العنفة الى $ne=10$ في الاتجاه القطري وحساب المحطات $r(ie)$.
- 2- قراءة قيمة كل من C و β المستخرجة من البرنامج الأول من مف وإدخال قيمة λ_{max}
- 3- فتح حلقة بدلالة V_{inf} وفرض قيمتين ابتدائيتين لكل من $a = \frac{1}{3}$ و $\dot{a} = 0$

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

-4 حساب ϕ من العلاقة $\phi = \arctan \frac{(1-a_{old})}{\lambda_r(1+a_{old})}$

-5 حساب α_d من $\alpha_d = \phi - \beta$

-6 حساب C_{Ld} و C_{Dd} بطريقة الاستكمال العددي.

-7 حساب σ ومعامل التصحيح f .

-8 حساب المعاملين a و \dot{a} : $a = \frac{1}{\frac{4f \sin^2 \phi}{C_{n\sigma}} + 1}$ و $\dot{a} = \frac{1}{\frac{4f \sin \phi \cos \phi}{C_{t\sigma}} - 1}$

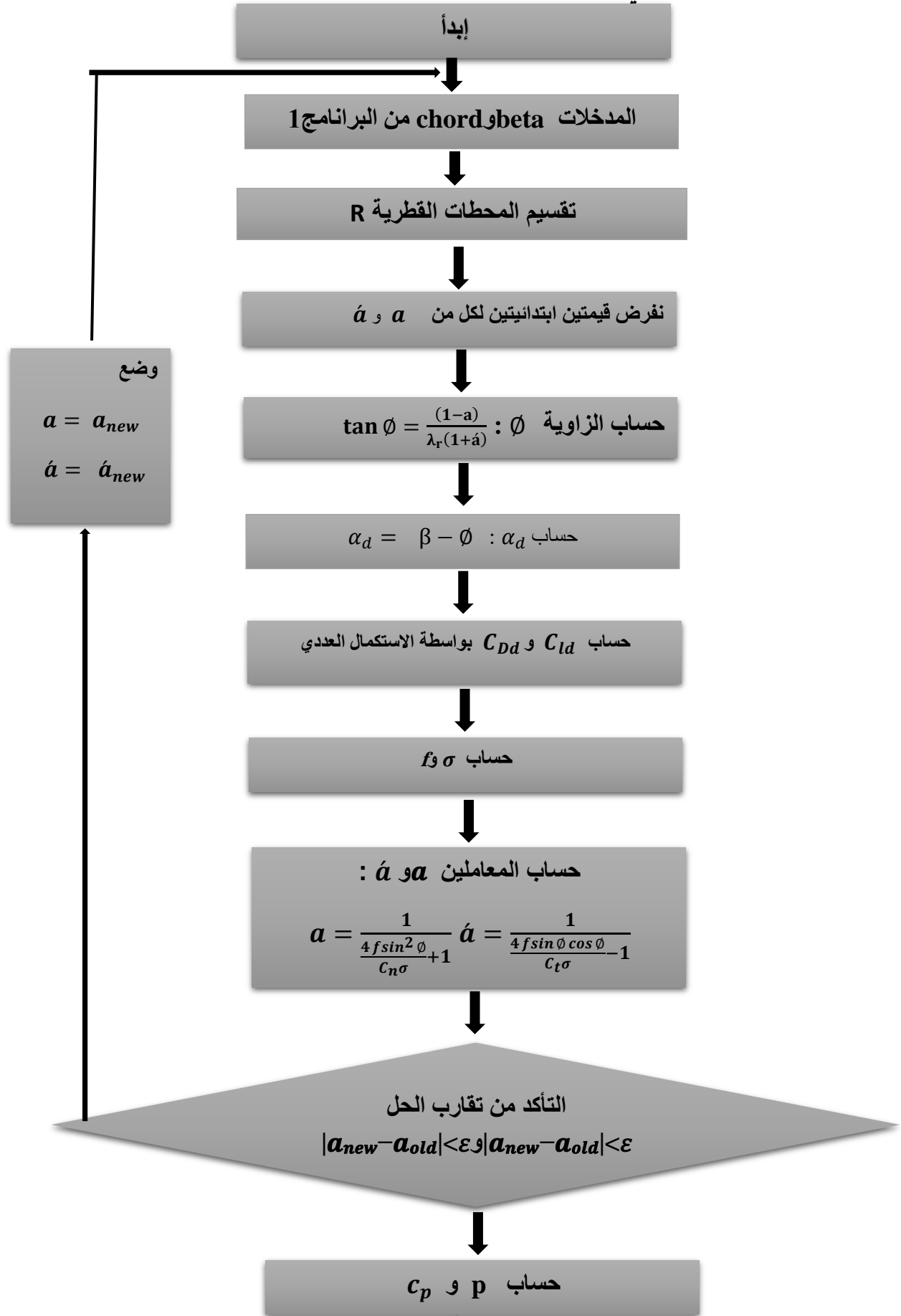
-9 التأكد من تقارب الحل عبر العلاقة التالية $|a_{new} - a_{old}| < \epsilon$ و $|\dot{a}_{new} - \dot{a}_{old}| < \epsilon$.

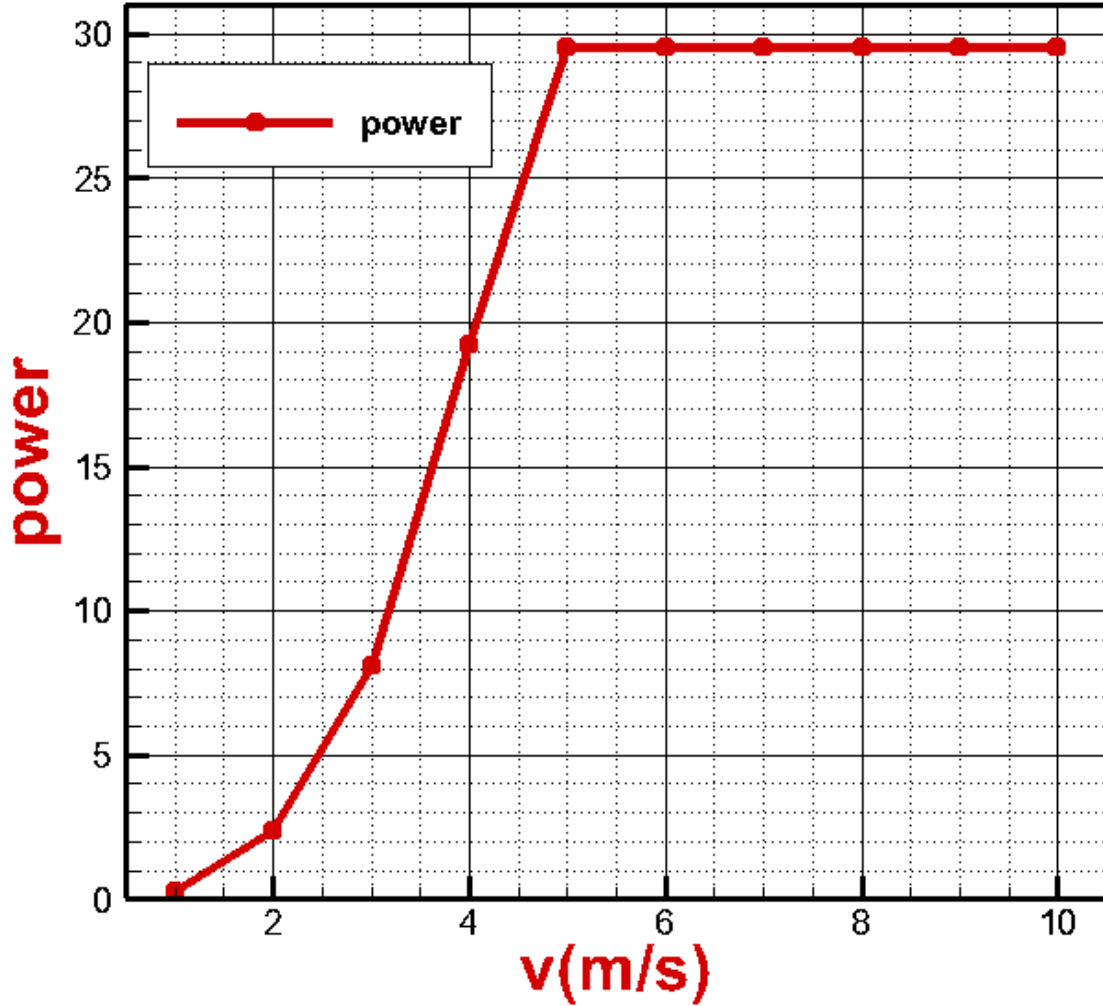
-10 إذا لم يتحقق الشرط نقوم بإعادة عملية الحساب بفرض $a_{old} = a_{new}$ و $\dot{a}_{old} = \dot{a}_{new}$.

-11 إذا تحقق الشرط حساب الخصائص الأيروديناميكية (P,T,M,Cp) وإيقاف الحساب عند تحقق شرط $P \geq P_{max}$.

الفصل الرابع طريقة عنصر الجناح *كمية الحركة*

المخطط الانسيابي: ➤





الشكل (41): منحنى الاستطاعة بدلالة السرعة.

☑ نلاحظ من خلال المنحنى الذي يمثل تغير الاستطاعة بدلالة سرعة الرياح أن الاستطاعة تتزايد بزيادة سرعة الهواء وهذا أمر بديهي لكون الاستطاعة تتناسب مع مكعب السرعة لبلوغ أقصى قيمة عند سرعة الرياح (m/s) 5 التي تمثل سرعة الاستطاعة العظمى V_{max} وسرعة بدأ التشغيل للعنفة هو $V_{cut-in}=1(m/s)$ وسرعة توقف العنفة $v-cut-out=10(m/s)$.

الفصل الخامس

المولدات والأبراج
الخاصة بالعنفة
الهوائية



الفصل الخامس الأجزاء الرئيسية للعنفات الهوائية

1.5 المقدمة:

تعدّ العنفات الهوائية من أسرع مصادر توليد الطاقة الكهربائية نموًا، حيث تقوم بتوليد الطاقة الكهربائية دون تلوّث الجو بالغازات الدفيئة بعكس طرق توليد الطاقة التي تستخدم الوقود الأحفوري، وتتكون هذه العنفات من ثلاثة أجزاء أساسية: البرج، الأجنحة التي يؤدي مرور الهواء خلالها إلى دورانها بحيث يتحول جزء من الطاقة الحركية للرياح إلى تدوير، والمولد الذي يقوم بدوره بتحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية.

2.5 المولد الكهربائي: [23]

يمكن تعريف المولد الكهربائي على أنه الجهاز الميكانيكي الذي يقوم بتحويل طاقة الحركة إلى طاقة كهربائية بالإضافة لوجود المجال المغناطيسي، حيث يعمل على مبدأ الحث الكهرومغناطيسي، وذلك هو أساس توليد التيار الحثي، وقد تطورت صناعة المولد الكهربائي بشكل كبير من حيث توليد التيار الحثي المقوم لدرجات عالية جداً، حيث يتم توجيه التيار الكهربائي ليتدفق من خلال الدائرة الكهربائية الخارجية، للمولد الكهربائي مصادر متعددة منها المحرك المتردد، والعنفات التي تستعمل المحرك البخاري من حيث عملها، أو من خلال دوران المياه في العنفات وهو ما يسمى بالطاقة المائية (عنفات الهوائية)، أو عبر الهواء المضغوط وغيرها.

يتم التحويل بشكل عكسي من طاقة كهربائية إلى ميكانيكية بواسطة المحرك الكهربائي، ويمكن أن تكون المحركات الكهربائية مدفوعة ميكانيكياً من أجل توليد الكهرباء، المولد الكهربائي ويطلق عليه باللاتينية بمصطلح "الدينامو" وهو المولد الذي ينتج عنه تيار بشكل مستمر وذلك باستعمال عاكس التيار، أول من اخترع المولد الكهربائي هو العالم الإنجليزي "مايكل فارادي" في العام 1831 ميلادي.

3.5 مبدأ عمل المولد الكهربائي:

عند دوران الوشيعه coil (وهي الملف الذي يتكون من سلك معدني بشكل ملولب لتوليد المغنطة الكهربائية والذي يجعل التيار يسير مسافات كبيرة بمساحة صغيرة وينتج عنه مجال مغناطيسي قوي) حول المجال المغناطيسي ينتج عنه الطاقة الكهربائية (الحث الكهرومغناطيسي)

الفصل الخامس الأجزاء الرئيسية للعنفات الهوائية

ومن خلال دوران الملف تستخدم به طاقة ميكانيكية ومثال ذلك مصباح الدراجة والذي يعتمد على دوران العجلة من أجل إنتاج الكهرباء لتضيء المصباح، أما محطات توليد الكهرباء فيتم استخدام الطاقة المتجدد مثل الهواء أو الماء من خلال دوران التوربينات التي تحول جريان الماء لكهرباء. يعني ذلك أنه عند تحريك الجزء الدوار (rotor) بواسطة عمود دوار يكون موصولاً بالمحرك الأساسي (prim mover) هنا يتولد من الدوار مجال كهرومغناطيسي ينتقل بواسطته إلى الملفات بالجزء الثابت (stator) والذي يقوم باستقبال هذا المجال الكهرومغناطيسي ثم يحوله إلى تيار كهرباء داخل ملفات تكون موزعة على ثلاثة وجوه وتكون الزاوية الواقعة بين كل وجه وآخر (120) درجة ثم تتحول إلى تيار كهرباء بشكل منتظم (الموجات الجيبية).

1.3.5 مبدأ عمل مولد التيار المباشر:

يدور الملف المعدني داخل المجال المغناطيسي لتوليد تيار كهربائي، وتستخدم قطعة إضافية تسمى بالمبدل في مولد التيار المباشر وظيفتها عكس التيار المتولد بعد كل نصف دورة للملف، فعند كل نصف دورة يتم عكس أقطاب الدوران باستخدام المبدل فيلغى بذلك انعكاس التيار وتبقى قيمة التيار المتولد ثابتة. وفي هذا النوع من المولدات يكون مصدر المجال مغناطيسي ثابتاً في مكانه، والملف هو الجزء المتحرك في داخل المولد.

2.3.5 مبدأ عمل مولد التيار المتناوب:

لا يختلف مبدأ عمل مولد التيار المتناوب عن مبدأ عمل مولد التيار المباشر غير أن مولد التيار المتناوب لا يحتوي على قطعة المبدل، حيث يمر التيار الكهربائي المتولد داخل المجال المغناطيسي دون عكس اتجاهه، مما ينتج تياراً متغيراً في قيمته صعوداً وهبوطاً.

4.5 أنواع المولدات الكهربائية:

1.4.5 المولدات التزامنية:

تعرف المولدات التزامنية Synchronous Generator بأنها نوع من المولدات تعتمد على الحركة المستمرة لتوليد التيار الكهربائي، والأجزاء الرئيسية في هذا النوع من المولدات هي الجزء الدوار Rotor والجزء الثابت Stator، وهما الجزءان المسؤولان عن توليد الطاقة الكهربائية حيث

الفصل الخامس الأجزاء الرئيسية للعنفات الهوائية

يمكن تثبيت مصدر المجال المغناطيسي على الجزء الدوار من المولد، أما الجزء الثابت يكون هو الملف المعدني الذي يسري فيه التيار ويسمى بالمولد ذي الملف الثابت Wound-field generator ، وقد يكون الجزء الثابت هو مصدر المجال المغناطيسي والجزء الدوار هو الملف المعدني الذي يسري فيه التيار ويسمى هذا النوع المولد ذي المغناطيس الدائم Permanent-magnet generators.

2.4.5 مولدات العنفات البخارية:

يرتبط مولد العنفات البخارية بالعنفات البخارية المستخدمة في محطات توليد الكهرباء بأنواعها المختلفة؛ كمحطات الفحم، ومحطات الطاقة الشمسية، ومحطات الطاقة الحرارية الأرضية، ومحطات الطاقة النووية، ومحطات الغاز الطبيعي، ومحطات الكتلة الحيوية، حيث يتم تحويل الطاقة الناتجة عن الضغط المرتفع لبخار الماء ذي الحرارة المرتفعة جداً إلى طاقة ميكانيكية تحرك شفرات التوربين البخاري، ثم تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية من خلال مولدات كهربائية تعمل بمبدأ الحث الكهرومغناطيسي لتوليد الكهرباء، إذ يحتوي عمود الدوران في التوربين البخاري في نهايته على ملف من أسلاك موصلة للكهرباء يدخل في المولد الكهربائي ويدور مع دوران شفرات التوربين البخاري داخل مجال مغناطيسي مما يؤدي إلى تدفق تيار كهربائي في الملف، ويتميز هذا النوع من المولدات الكهربائية بقدرته المرتفعة التي يمكن أن تصل إلى 1500 ميغا واط من إنتاج الكهرباء.

3.4.5 مولدات العنفات الهوائية:

تتبع مولدات العنفات الهوائية نفس مبدأ عمل مولد العنفات البخارية لكنها من نوع المولد ذي المغناطيس الدائم، وتعتمد على حركة أجنحة العنفة الهوائية ودورانها بفعل حركة الرياح، إذ تكون الأجنحة موصولة بالجزء الدوار داخل المولد الكهربائي مما يؤدي إلى توليد الطاقة الكهربائية.

4.4.5 مولدات العنفات المائية:

تعتمد العنفات المائية على طاقة الوضع للمياه المتدفقة من ارتفاعات عالية، والتي تؤدي إلى تحريك أجنحة العنفات المائية وقف عمود الدوران الموصول بالمولد الكهربائي إذ يكون الجزء الدوار

الفصل الخامس الأجزاء الرئيسية للعنفات الهوائية

حاملًا للمجال المغناطيسي، أما الجزء الثابت يمثّل الموصل الذي يسري فيه التيار الكهربائي. أجزاء المولد الكهربائي:

يوجد في كل مولّد كهربائي جزأين أساسيين وهما:

✚ الميكانيكي: ويكون به عضو ثابت (يكون ثابت بالآلة الكهربائية)، وعضو آخر هو الدوار (ويدور في الآلة الكهربائية).

✚ الكهربائي: ويتكون مما يلي:

✱ إطار حامل: أي الجزء الذي ينتج الطاقة بالآلة الكهربائية، حيث تقوم ملفاته بتوليد الطاقة الكهربائية ويكون إما مركباً على العضو الدوار أو الثابت.

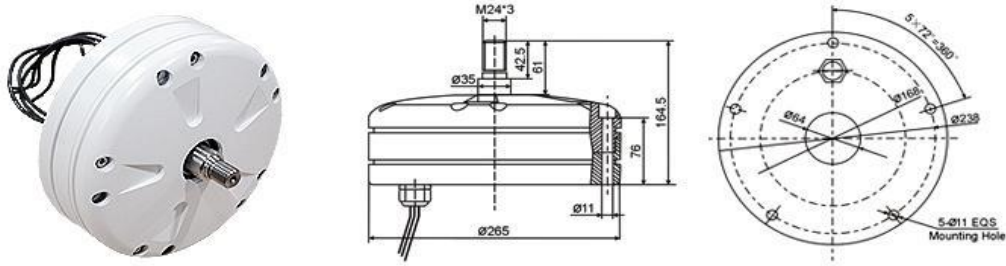
✱ ملفات المجال: وهو الجزء الذي ينتج المجال المغناطيسي بالآلة الكهربائية ويكون باستخدام مغناطيس دائم يتم تثبيته على العضو الدوار أو الثابت من الجزء الميكانيكي.

6.5 اختيار المولد: [24]

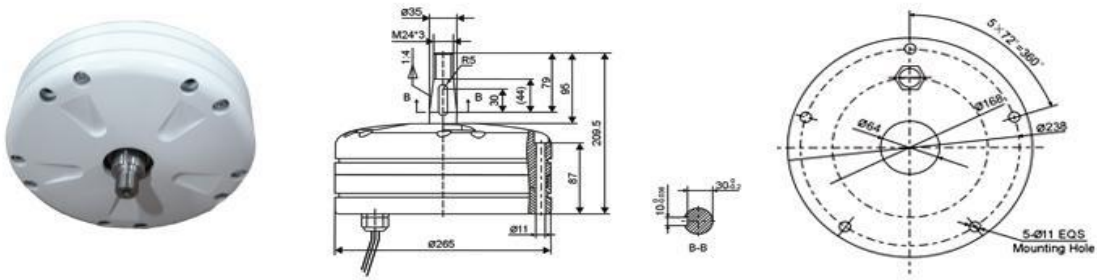
تستخدم غالبية العنفات الهوائية الصغيرة والمتناهية الصغر اليوم مولدات مغناطيسية دائمة ثلاثية الطور (PMG) لا يتطلب محرك PMG ني الدفع المباشر علبه تروس لزيادة دورات العمود في الدقيقة (RPM) حتى تصل إلى عدد الدورات في الدقيقة لمحرك DC التقليدي. يتم تخصيص RPM التشغيل المباشر لـ PMG من خلال عدد الأعمدة المثبتة على دوار المولدات. المولد المستخدم لهذا التصميم هو عبارة عن PMG جاهز للاستخدام من قبل الشركة المصنعة الصينية Ginlong، يأتي نموذج PMG هذا في نموذجين: أحدهما مصفّف عدد 0.5 كيلو واط (الشكل 1) والآخر مصفّف عدد 1.0 كيلو واط (الشكل 2). كلا PMG لهما نفس القطر، لذلك يمكن تركيبهما على نفس تصميم خط الأساس للعنفة الهوائية. يسمح هذا التصميم القابل للتبديل للمستخدم بتحديد 0.5 كيلو واط PMG لموقع سرعة رياح متوسط أقل أو حدد 1.0 كيلو واط مصفّف PMG لموقع سرعة رياح متوسط أعلى. يتطلب محرك PMG المباشر مقوماً (الشكل 3) لتحويل طاقة التيار المتردد إلى طاقة تيار مستمر لشحن بنوك البطارية. بالنسبة لتوربينات الرياح المتصلة بالشبكة، يلزم وجود محول طاقة لتحويل طاقة التيار المستمر المصححة إلى طاقة تيار متردد عند تردد الشبكة الصحيح (عادة 60

الفصل الخامس الأجزاء الرئيسية للعنفات الهوائية

هرتز). عينة من محول طاقة جاهز للاستخدام مع 1000 واط، 12 فولت تيار مستمر إلى 120 فولت تيار متردد، كما هو موضح في الشكل (4).



الشكل (42): مولد المغناطيس الدائم (PMG) GL-PMG-500A



الشكل (43): مولد المغناطيس الدائم (PMG) GL-PMG-1000A



الشكل (44): المعدل المستخدم لتحويل طاقة التيار المتردد إلى طاقة تيار مستمر للعنفة الهوائية الصغيرة

الفصل الخامس الأجزاء الرئيسية للعنفات الهوائية



الشكل (45): محول طاقة يستخدم لتحويل طاقة التيار المستمر المصححة إلى طاقة التيار المتردد المطابقة لتردد الشبكة.

7.5 البرج Towers:

البرج هو عمود دعم وظيفته الرئيسية هي دعم الدوار والمحور وجميع مكونات عنفات الهوائية الموجودة فوقه. البرج مصنوع من مادة قوية للغاية بحيث يمكنه تحمل الحمل بسبب جانبية العنفات الهوائية وقوة الرياح بحيث يمكنه دعم العنفات الهوائية في الحفاظ على الاهتزازات، خاصة أثناء الطقس السيئ الذي يعاني منه. سرعة الرياح واتجاهها غير مستقر. من بين المواد المستخدمة في صنع البرج الأنابيب الفولاذية والخرسانة والإطارات الحديدية أو مواد البوليمر المقوى بالألياف الزجاجية (GFRP).

8.5 أنواع أبراج العنفات الهوائية: [25]

في الوقت الحاضر، يمكن إنتاج أبراج العنفات الهوائية بأنواع عديدة ومصنوعة من العديد من المواد. كمادة، الأبراج مصنوعة من الخرسانة أو الصلب الإنشائي. بشكل عام، يمكن تقسيم الأبراج إلى أربع فئات، أبراج شبكية، أبراج أسطوانية، أبراج خرسانية وأبراج هجينة مصنوعة من الخرسانة والمعدن.

الفصل الخامس الأجزاء الرئيسية للعنفات الهوائية

1-8-5 أبراج شعرية Lattice Towers :

كما يتضح من الشكل 1، يتكون البرج الشبكي من عدة قطع من العنا المعدنية. يتم الإتصل بين هذه الأجزاء المعدنية بواسطة البراغي. أحد الجوانب الإيجابية لهذا الهيكل هو سهولة الوصول إليه. يمكن العثور على هذا النوع من الأجزاء الصغيرة في جميع منتجي المعادن. أيضاً، وفقاً لشكل البرج، يكون تأثير حمل الرياح أقل من أنواع الهياكل الأخرى. ومع ذلك، لا يمكن أن يحمل هذا النوع من الهياكل ثقلاً جداً والتكلفة الرئيسية أعلى من أنواع الأبراج الأخرى.



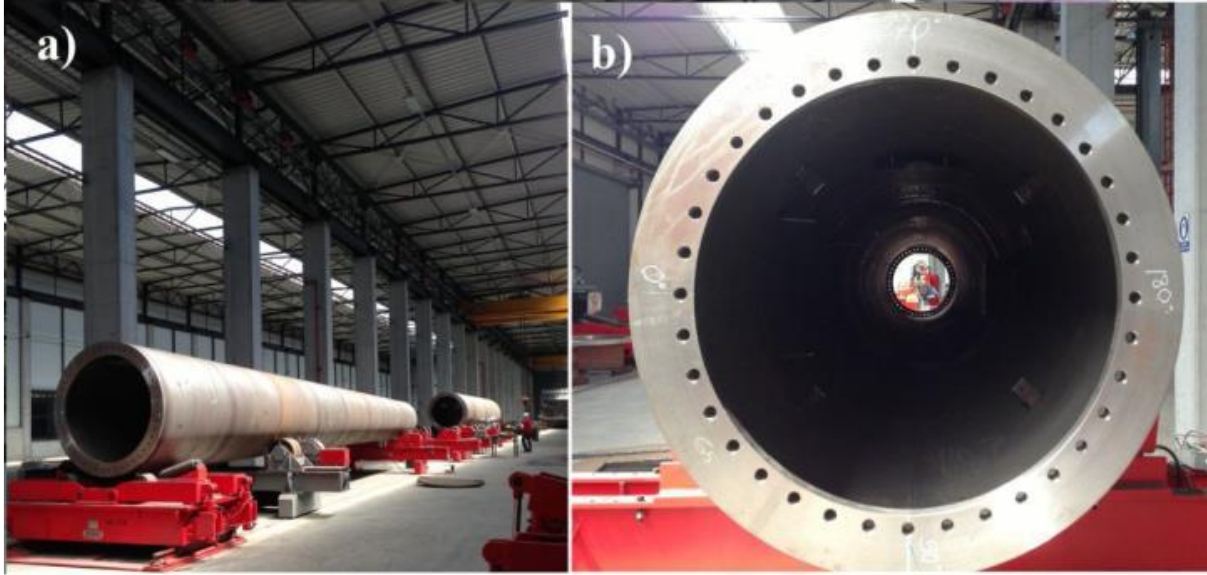
الشكل (46): عينة برج شعرية.

2-8-5 أبراج فولاذية أسطوانية:

في الوقت الحاضر، في قطاع طاقة الرياح، أكثر أنواع برج العنفات الهوائية اختياراً هو البرج الأسطواني الفولاذي. بالنظر إلى الأبراج الأخرى، فإن هذه الأنواع من الأبراج أخف من الأنواع الأخرى. هذه ليست أخف وزناً فحسب، بل إنها اقتصادية أيضاً. في الواقع، السبب الرئيسي لاختيار هذا النوع من الأبراج هو قوة الهيكل. بالمقارنة مع أنواع الأبراج الأخرى، فإن الأبراج الأسطوانية أقوى بكثير.

الفصل الخامس الأجزاء الرئيسية للعنفات الهوائية

بشكل عام، يتم توصيل الأقسام الرئيسية لهذه الأبراج ببعضها البعض بواسطة البراغي. ولكن قبل التوصيل، من أجل إنتاج الجزء الأسطواني، يجب أن يتم لحام المعدن المعدني المنحني من خط اللحام العمودي. عموماً يتم اختيار كل علبه حوالي 2-3 متر. ثم يتم لحام هذه الأجزاء بطول 2-3 متر أفقياً. يمكن رؤية عينة من برج أسطواني ووصلات شفة في الشكل 2.



الشكل (47): برج أسطواني فولاذي

بشكل عام من أسفل إلى أعلى، يصبح قطر كل علبه أصغر. أيضاً، يمكن أن يتغير سمك كل منها وفقاً للأحمال. كما ذكرنا سابقاً، تعتبر الأبراج الأسطوانية الفولاذية أكثر اقتصاداً من غيرها. نظراً لشكله الهيكلي، يحتوي البرج على عدد أقل من وصلات البراغي مقارنة بالأبراج الشبكية، مما يعني أن عدداً أقل من وقت الضغط والتوتر المسبق. بالإضافة إلى ذلك، تحتاج الأبراج الأسطوانية إلى صيانة أقل من الأنواع الأخرى. في جوانب السلامة، توفر الأبراج الأسطوانية مزيداً من أماكن التسلق الآمنة للفنيين. المنظر الجمالي هو أيضاً أحد الطرق الإيجابية لهذا النوع من الأبراج.

3-8-5 أبراج خرسانية:

بالمقارنة مع الأبراج الفولاذية، فإن الأبراج الخرسانية لا تحظى بشعبية مثل الهياكل الفولاذية. من ناحية أخرى، وفقاً لمتطلبات الطاقة، سيزداد ارتفاع البرج وقطر الدوار كثيراً. نتيجة هذه الزيادة،

الفصل الخامس الأجزاء الرئيسية للعنفات الهوائية

من أجل الوصول إلى المزيد من هياكل الأمان، يلجأ المستثمرون إلى الهياكل الخرسانية. على وجه الخصوص، تعتبر نتائج التحليلات الديناميكية للهياكل الخرسانية مثيرة للإعجاب.

بشكل عام، يتم تجميع الأبراج الخرسانية في الميدان، كما يتضح من الشكل رقم 3 التالي. بالإضافة إلى ذلك، يتم استخدام الخرسانة في قطاع البناء كثيرا، لذلك لا توجد مشكلة في المزود. بالنسبة لأبراج الرياح، تستخدم الشركات طريقة الخرسانة مسبقة الإجهاد. نتيجة لهذه الطريقة، يتم تقليل عدد الكراكة على الخرسانة. أقل يعني الكراك طول العمر من حيث التعب. أحد الجوانب الجيدة الأخرى للخرسانة هو الالتواءات المحلية أو الانحناء. أثناء التجميع، يجب فحص الهياكل الفولاذية بعناية فائقة للتحقق من الالتواءات الموضعية أو الانحناء.



الشكل (48): الأبراج الخرسانية لعنفات الهوائية.

الفصل الخامس الأجزاء الرئيسية للعنفات الهوائية

4-8-5 أبراج هجينة:

كما يمكن فهمه من اسمها، تستخدم الأبراج الهجينة الفولاذ والخرسانة معا. يتكون هذا البرج من جزأين رئيسيين. يمكن ملاحظة عينة جيدة واحدة في الشكل 4. الجزء الأول هو الأساس الخرساني ونصف البرج، والجزء الثاني هو البرج الأسطواني فوق الخرسانة. الهدف من البرج الهجين هو الاستفادة من كلا نوعي البرجين الإيجابي. على سبيل المثال، البرج الخرساني لا يعاني من مشكلة النقل والهياكل الفولاذية أخف من الخرسانة. يمكن أن يوفر استخدام برج هجين مرونة للشركات.



الشكل (49): عملية التجميع للبرج الهجين.

الفصل الخامس الأجزاء الرئيسية للعنفات الهوائية

بالمقارنة مع برج خرساني بالكامل، أثناء تجميع الأبراج الهجينة، فإن الرافعة الأقل قوة ضرورية. إنه يعني عملية تجميع سهلة وأقل تكلفة من البرج الخرساني بالكامل. علاوة على ذلك، فإن الجزء العلوي من البرج الهجين مصنوع من الفولاذ، وبالتالي فهو أقل ثقلاً من الخرسانة بالكامل. هذا شيء إيجابي في ظروف الزلزال.

وفي دراستنا قمنا باستخدام الأبراج التي يتم تثبيتها فوق الاسطح كما هو موضح في الشكل 5



الشكل (50): عنفة هوائية فوق الاسطح.

الفصل السادس

صناعة وتجسيد
العنف الهوائية
أفقية المحور



الفصل السادس صناعة وتجسيد العنفة الهوائية أفقية المحور

1.6 المقدمة:

إن مسألة تحديد المعاملات الديناميكية الهوائية الضرورية لضمان التغير الأمثل للجناح للحصول على أفضل أداء، تم اقتراح إجراء تصميم لجناح عنفة الرياح من خلال النتائج العددية التي تم التحصل عليها من برنامج الفورتران والمحاكاة للظاهرة الفيزيائية الحقيقية وكذا التنبؤ بتطورها، يتم استخدام المعاملات التي تم الحصول عليها من البرنامج مباشرة في تصميم وإنشاء النموذج ثلاثي الأبعاد للجناح باستعمال برنامج SolidWorks.

2.6 الأجهزة المستعملة:

1.2.6 المثقاب الكهربائي: [26]

يُعتبر المثقاب الكهربائي اليدوي أسهل الأجهزة الكهربائية استخداماً، هو أداة جيدة بالنسبة للنجار، تستخدم لحفر الخشب والمعدن والبلاستيك والخرسانة، بالإضافة إلى أعمال أخرى كثيرة، يستعمل المثقاب بكلتا اليدين اليد اليمنى في أعلى المقبض الرئيسي الذي يوجد به مفتاح التشغيل، واليد اليسرى على المقبض الجانبي، كما أن جهاز المثقاب يعمل كهربائياً إما بشكل مباشر أو ببطارية شحن، توضع ريش المثقاب في مكان الثقب، يمكن التعرف على حجم وقوة المثقاب بمقدار حجم الظرف الذي يركب فيه الريشة.



الشكل (51): المثقاب الكهربائي.

الفصل السادس صناعة وتجسيد العنفة الهوائية أفقية المحور

2.2.6 طاحونة القرص: [27]

هي أداة جليخ تستخدم لقطع وتلميع الألياف الزجاجية البلاستيك المسلح. زاوية طاحونة هو أداة كهربائية المحمولة التي تستخدم الألياف الزجاجية البلاستيك المسلح لقطع وتلميع. وهي تستخدم أساساً لقطع وطحن وتنظيف المعادن والحجارة.



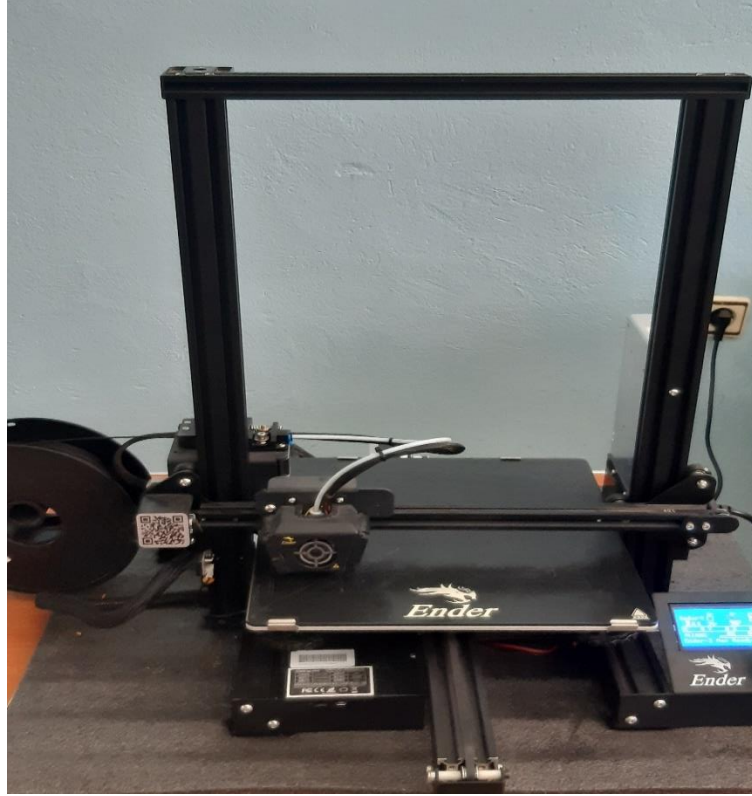
الشكل (52): الطاحونة الزاوية.

3.2.6 الطباعة ثلاثية الأبعاد: [28]

الطباعة ثلاثية الأبعاد هي تقنية مبتكرة تمكنك من إنشاء المجسمات من خلال نموذج رقمي.

حيث تعرف الطباعة ثلاثية الأبعاد باسم التصنيع المضاف. وهو ينطوي على عملية أخذ النموذج الرقمي، وترجمته إلى سلسلة من شرائح أفقية في لغة الآلة، ثم طباعته عن طريق إضافة طبقات متعاقبة ودقيقة جداً لا يتجاوز سمكها أجزاء من المليمتر من المواد حتى يتم إنشاء المجسم ثلاثي الأبعاد باستخدام عدد من التقنيات المختلفة.

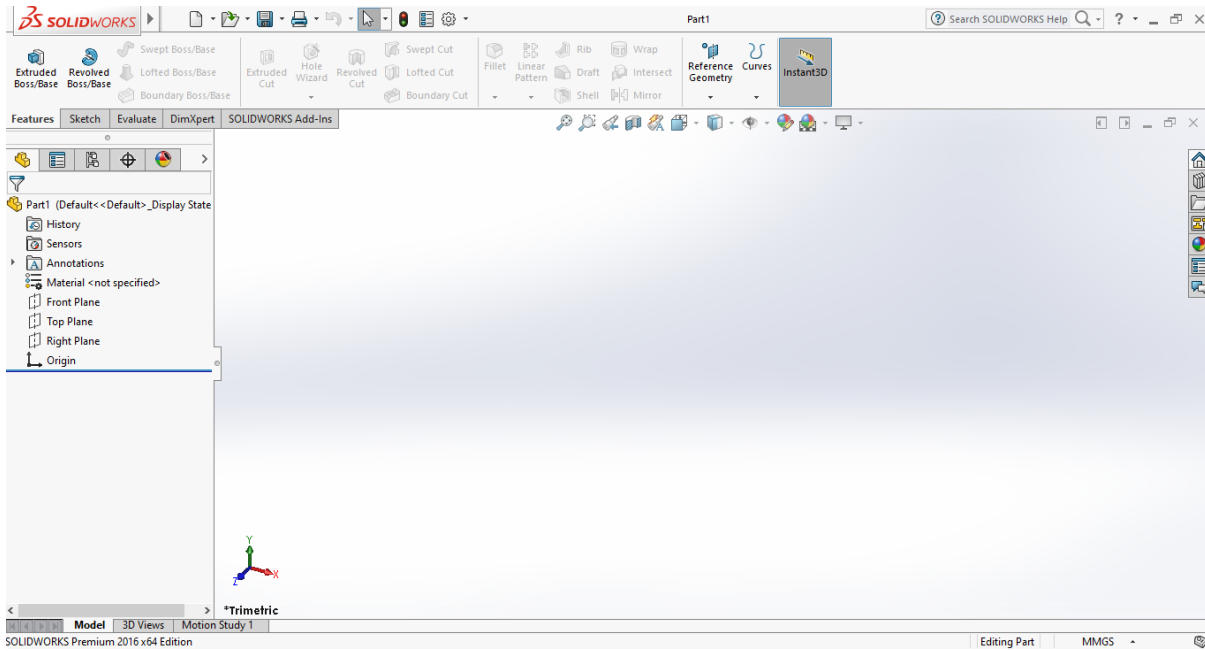
الفصل السادس صناعة وتجسيد العنفة الهوائية أفقية المحور



الشكل (53): الطابعة ثلاثية الأبعاد

3.6 رسم الجناح :

باستخدام برنامج SolidWorks يمكننا نمذجة الجناح الصغيرة الملتوية نصف قطرها 0.5 m



الشكل (54): واجهة برنامج SolidWorks.

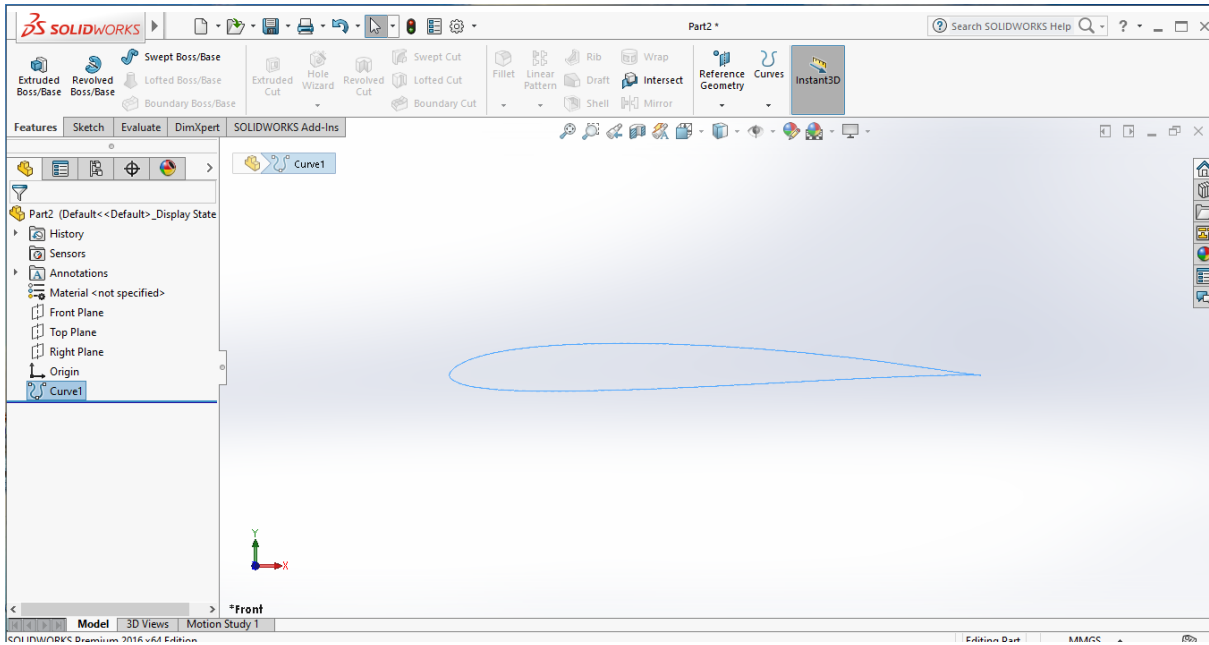
الفصل السادس صناعة وتجسيد العنفة الهوائية أفقية المحور

1.2.6 خطوات تصميم الجناح في برنامج SolidWorks:

بعد تحديد الوتر وزاوية الالتفاف لكل مقطع جانبي تم تصميم لنموذج ثلاثي الأبعاد باستخدام في برنامج SolidWorks مرت عملية التصميم بالخطوات التالية:

✓ رسم مقطع ايروديناميكي SD8000-089-88 باستخدام إحداثيات (X,y) باستعمال

وظيفة الإنحناء Courbes

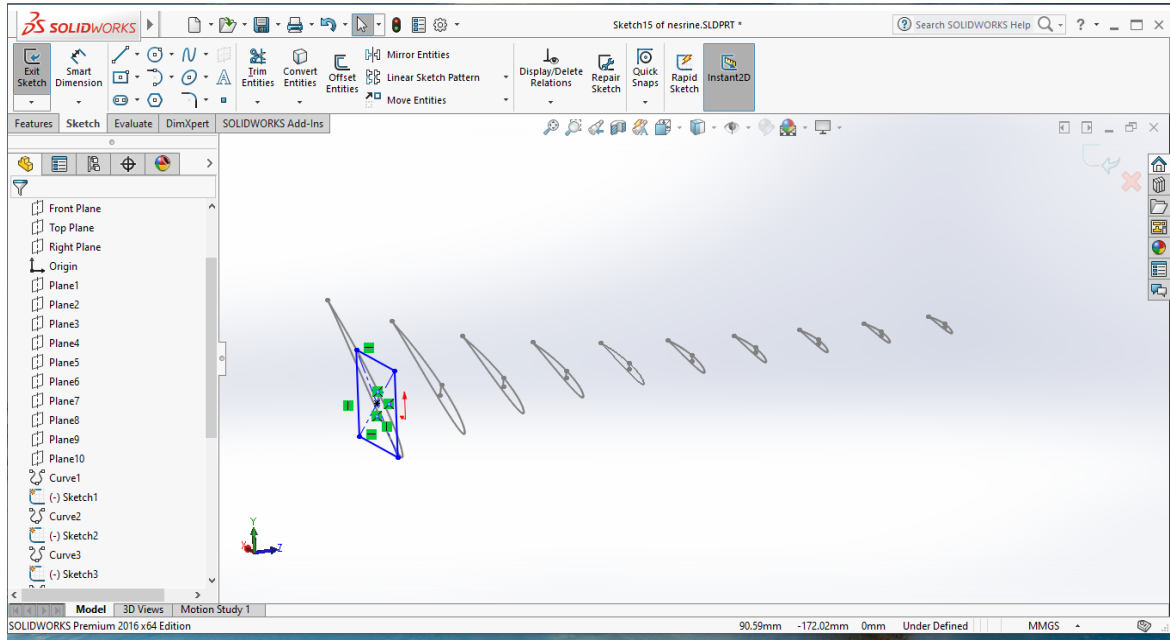


الشكل (55): مقطع ايروديناميكي من صنف SD8000-089-88.

✓ نقوم بتكرار مقطع الايروديناميكي 10 مرات مع ضبط الوتر وزاوية الالتفاف لكل مقطع

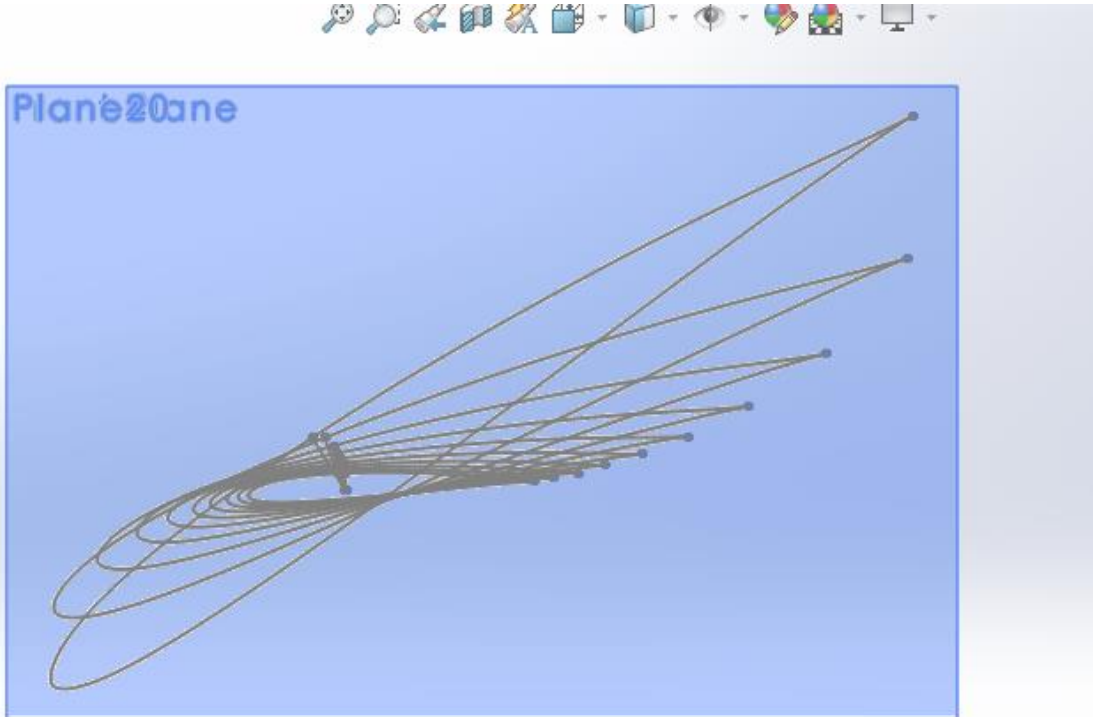
على طول الجناح $r=0.5$ m

الفصل السادس صناعة وتجسيد العنفة الهوائية أفقية المحور



الشكل (56): توزيع الوتر وزاوية الالتفاف على طول المحطات القطرية.

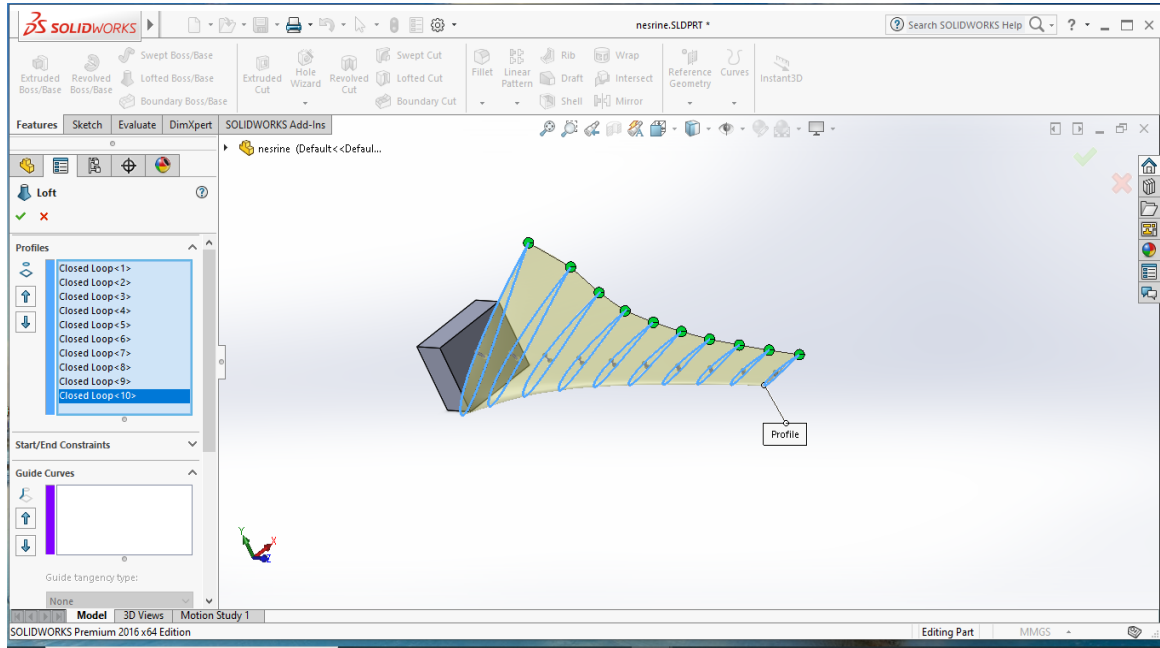
✓ الجمع بين المقاطع الايروديناميكية دون الربط بينها كما هو موضح في الشكل (58)



الشكل (57): تغير زاوية الالتفاف وطول الوتر لجناح عنفة الرياح في الفضاء.

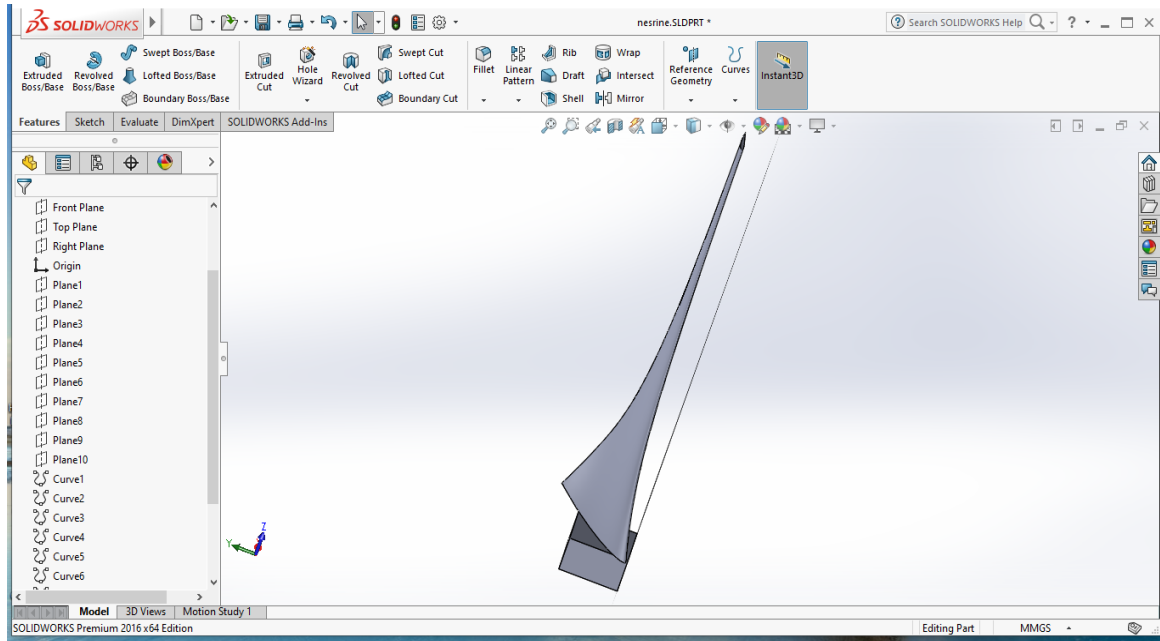
الفصل السادس صناعة وتجسيد العنفة الهوائية أفقية المحور

✓ الربط بين المقاطع الأيروديناميكية والحصول على هيئة ثلاثية الأبعاد. للقيام بذلك ننقر على أيقونة التوصيل. lofted.



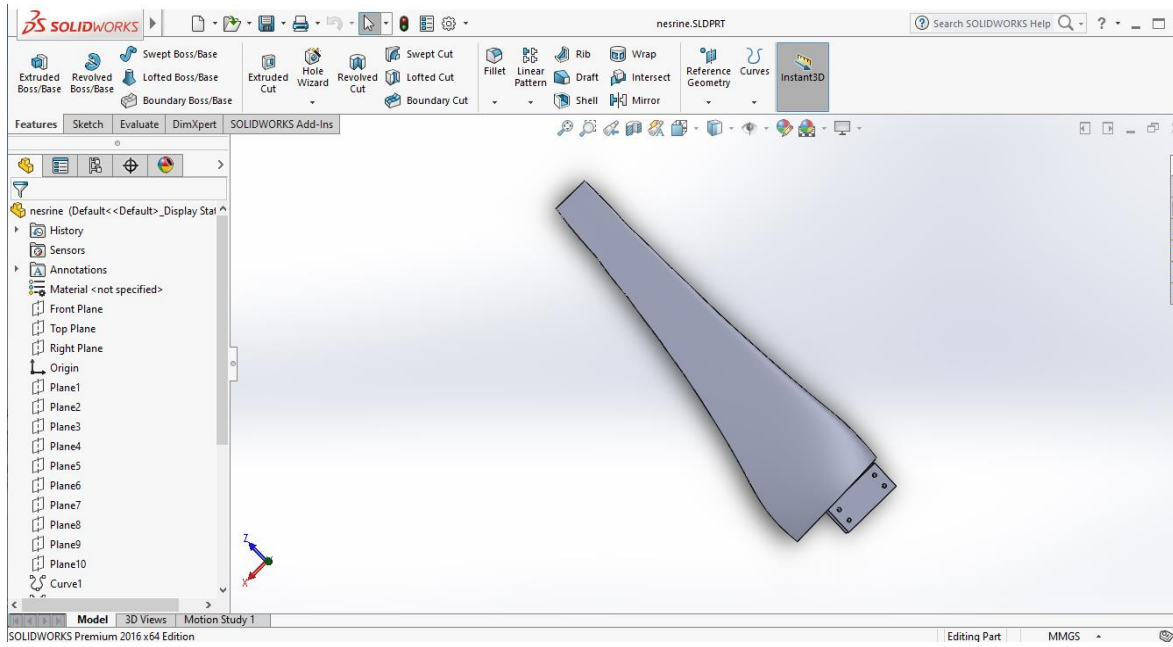
الشكل (58): ربط المقاطع لتشكيل الجناح.

✓ بعد النمذجة الهندسية تمكننا من الوصول لشكل جناح عنفة الرياح.



الشكل (59): ربط الجناح بالجذر.

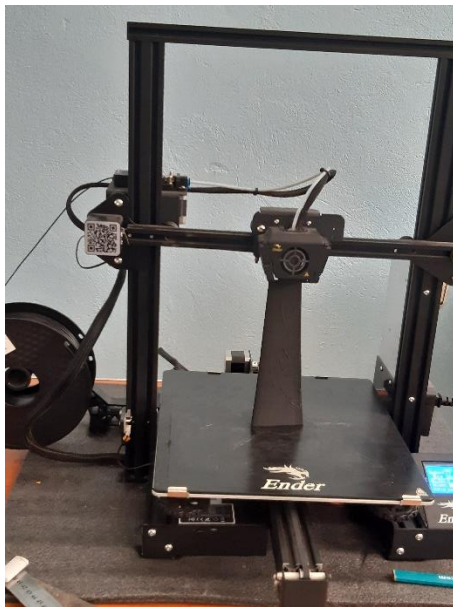
الفصل السادس صناعة وتجسيد العنفة الهوائية أفقية المحور



الشكل (60): الشكل النهائي للجناح بطول 0.5 متر.

بعد تصميم الجناح نقوم بإدخاله لطابعته بواسطة الطابعة ثلاثية الأبعاد كما هو موضح في

الشكل التالي:



الشكل (61): طباعة الجناح.

الفصل السادس صناعة وتجسيد العنفة الهوائية أفقية المحور

بعد الانتهاء من الطباعة نتحصل على الشكل النهائي للجناح كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل (62): الشكل النهائي للجناح.

3.7 إنشاء العنفة:

➤ الأرضية: هو الجزء الذي ترتكز عليه العنفة الهوائية. وهو عبارة عن كتلة خرسانية تستطيع رفع العنفة.

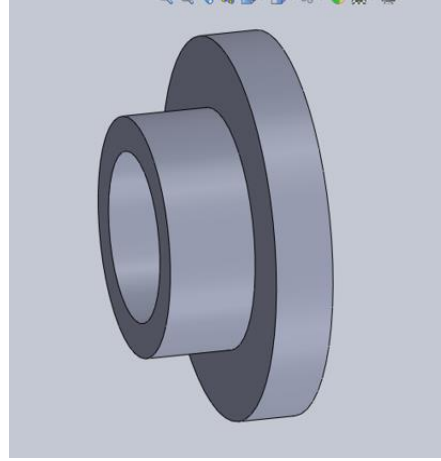
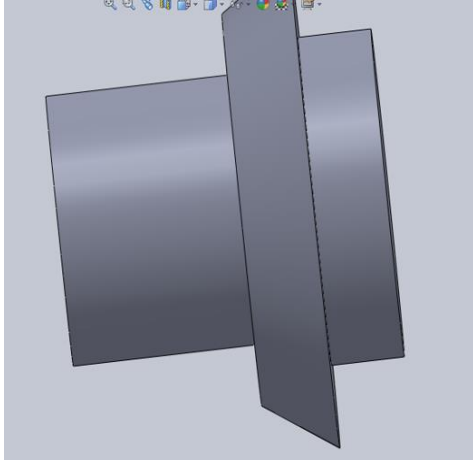
✓ القيام بتحضير الخرسانة: إسمنت + تراب + حصى + ماء.

الفصل السادس صناعة وتجسيد العنفة الهوائية أفقية المحور



الشكل (63): تحضير الأرضية الخرسانية.

➤ برج العنفة: تم استخدام عمودين جديدين لهما قطرين مختلفين تم التوصيل بينهما بواسطة المدحرجات وقطعتين من الألمنيوم كما هو موضح بالشكل (64).



الشكل (64): القطع المعدنية.

بعد ذلك قمنا بتحضير الحامل الحديدي.

✓ قص القطع الحديدية:

الفصل السادس صناعة وتجسيد العنفة الهوائية أفقية المحور



الشكل (65): تحضير القطع.

بعد الانتهاء من قص القطع بواسطة طاحونة القرص نقوم بجمعها والبدء في عملية التلحيم كما هو موضح في الشكل (66).



الشكل (66): مراحل إنجاز الحامل.

وفي الأخير تحصلنا على الشكل النهائي كما هو موضح في الشكل (67).



الشكل (67): البرج.

➤ الذيل: يعمل على ضبط اتجاه العنفة على أساس اتجاه الرياح وانحرافه لليمين واليسار.

إنشاءه: بعد طباعة القالب بواسطة الطابعة ثلاثية الأبعاد من المقطع الايروديناميكي NACA0017 كما هو موضح في الشكل (68).

الفصل السادس صناعة وتجسيد العنفة الهوائية أفقية المحور



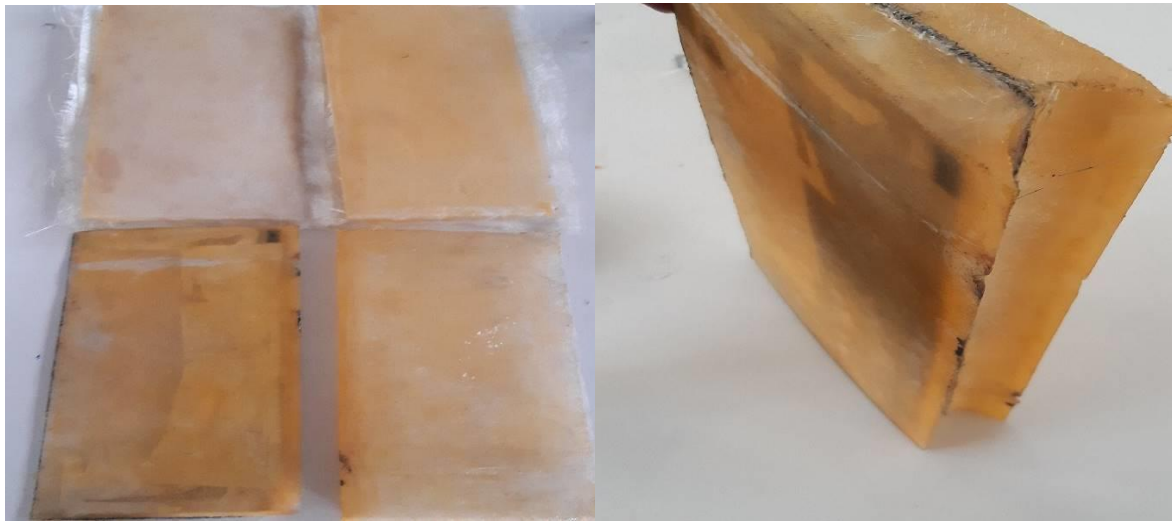
الشكل (68): قالب الذيل.

بعد إنشاء القالب نقوم بتحضير الأدوات المستخدمة لإنشائه وهي عبارة عن ألياف زجاجية ومادة صمغية نوع epoxy كما موضح في الشكل (69).



الشكل (69): مراحل إنشاء الذيل.

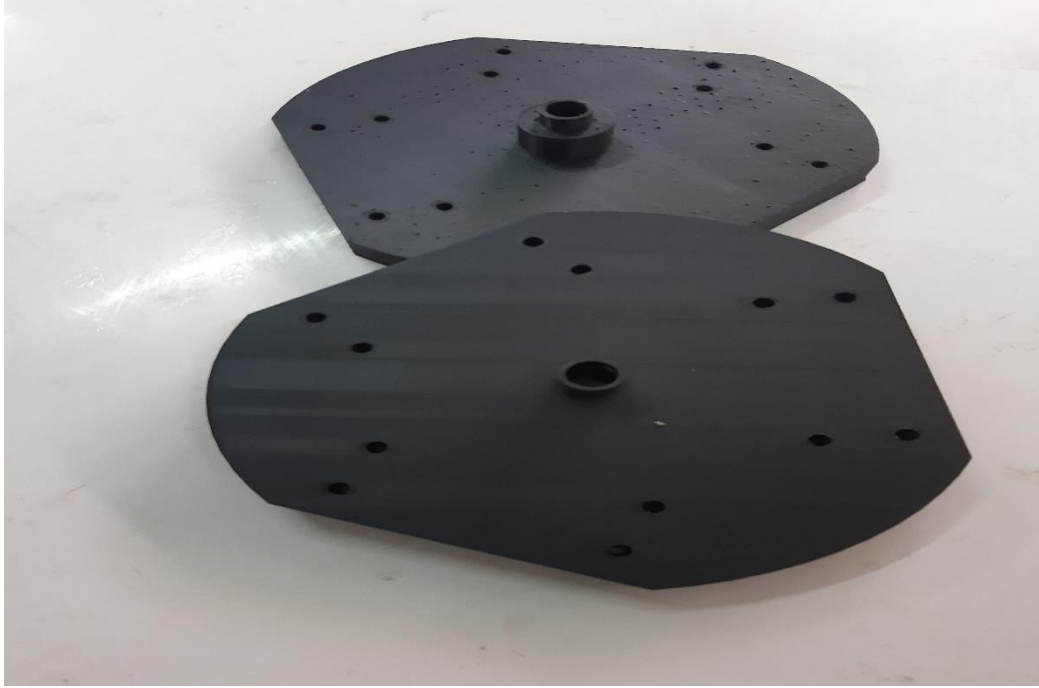
بعد تجفيفه نتحصل على الشكل النهائي التالي:



الشكل (70): الشكل النهائي للذيل.

الفصل السادس صناعة وتجسيد العنفة الهوائية أفقية المحور

➤ الدوار: وهو الجزء الحامل للأجنحة .



الشكل (71): الدوار .

➤ الشكل النهائي للعنفة الهوائية :



الشكل (72): الشكل النهائي للعنفة الهوائية.

تاریخ



للجزائر مساحات شاسعة من مناطق ريفية وحضرية يمكن استغلالها لإنتاج الطاقة الكهربائية من المصادر المتجددة كمزارع الرياح. تعتبر إمكانات الجزائر في الطاقات المتجددة الأكبر إفريقيا بفضل موقعها الإستراتيجي وتنوع مناخها، يمكن أن تساهم مواردها في التنمية الاجتماعية والاقتصادية في بعض المناطق النائية والمعزولة للغاية بشكل فعال مع تكلفة قليلة. يتميز مصدر طاقة الرياح بكونه نظيفاً من الناحية البيئية نظراً لأن العنفات الهوائية لا ينبعث منها أي ملوثات أو غازات دفيئة ولا ينتج عنها نفايات. وهذا هو ما دفعنا إلى دراسة تطوير العنفات الهوائية ذات المحور الأفقي الصغيرة وتحسين أدائها والذي يتطلب إتقان لتصميم العنفات الهوائية.

في هذه المذكرة قمنا بدراسة تصميمية لعنفة هوائية أفقية المحور (HAWT) وتحليل أدائها عن طريق نظرية عنصر الجناح - كمية الحركة بالحصول على المعاملات الأيروديناميكية، باستعمال برنامج الفورتران. الذي يركز على المعادلات التكاملية للإحفاظ والمعادلات الأيروديناميكية بإضافة إلى إحداثيات المقطع الأيروديناميكي المستعمل والبيانات التجريبية الأيروديناميكية الخاصة به) معامل الرفع ومعامل الإعاقة (وذلك بهدف الحصول على الشكل الهندسي الأمثل لأجنحة العنفة من خلال حساب كل من زاوية الالتفاف وقيمة الوتر في مختلف المحطات القطرية. واستخدمنا برنامج SolidWorks لتصميم الشكل النهائي للجناح وتم الحصول على النتائج التالية:

في الدراسة النظرية تمكنا من الحصول على متوسط السرعة للمنطقة المدروسة من خلال توزيع وايل.

تمكنا أيضاً من الحصول على الاستطاعة المنتجة والقوى المؤثرة على الجناح والمعاملات الأيروديناميكية لتصميم نظام العنفات الهوائية من خلال نظرية عنصر الجناح - كمية الحركة BEM.

من خلال النتائج المتحصل عليها من برنامج الفورتران، تمكنا من تصميم الشكل النهائي لجناح العنفة الهوائية ذات المقطع الأيروديناميكي SD8000 - باستعمال برنامج SolidWorks.

استثمار التقنيات المتقدمة للطباعة ثلاثية الأبعاد لإنشاء العنفة الهوائية.

كعمل مستقبلي نقترح على طلبة الماستر القيام بدراسات تجريبية وعددية للتحقق من أداء هذه العنفة ومستوى كفاءتها.

هذا المشروع نستطيع تفكيكه بغرض استبدال المقطع بمقاطع أخرى.
يمكن إدراج تقنيات التحكم السلبي والمفعل على الأجنحة للتحسين أدائها.



الملحق -أ-

يمثل الجدول التالي سرعة الرياح (m/s) لكل يوم خلال أشهر سنة 2019 تم الحصول عليها من مصلحة الأرصاد الجوية المكتب الجهوي -ورقطة METEO .

اليوم	جانفي	فيفري	مارس	أفريل	ماي	جون	جويلية	أوت	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
1.00	0.50	3.88	1.88	3.50	4.25	6.00	2.38	7.00	3.88	2.50	2.63	2.88
2.00	1.38	5.38	2.25	2.50	6.38	4.63	5.00	4.50	1.75	3.50	1.25	2.50
3.00	3.38	7.00	3.25	4.38	9.75	3.88	4.63	3.38	2.88	4.38	4.25	4.38
4.00	1.75	6.13	2.25	6.38	7.13	4.00	3.88	2.13	2.63	1.63	2.25	3.88
5.00	1.00	5.00	1.38	4.88	3.50	4.25	2.13	3.13	2.50	1.13	3.88	2.50
6.00	1.00	2.63	2.88	5.25	2.00	2.25	3.25	3.38	4.50	1.50	4.88	4.38
7.00	2.13	1.38	3.38	3.00	3.25	5.38	4.50	3.63	4.88	2.50	2.00	3.75
8.00	1.63	1.25	6.13	1.63	2.38	4.38	4.25	3.38	2.50	7.38	2.75	3.38
9.00	3.00	2.63	10.6	4.13	3.38	5.00	5.00	1.38	5.63	2.25	3.88	4.38
10.00	2.00	2.88	9.88	3.63	3.25	5.63	2.25	4.63	2.75	2.13	4.13	3.13
11.00	4.63	2.25	9.25	4.38	3.75	3.25	2.38	3.88	7.88	4.00	4.25	2.63
12.00	3.00	5.50	3.50	2.63	5.75	3.38	2.75	3.00	6.50	4.50	4.88	3.00
13.00	1.00	3.13	4.25	2.25	5.63	5.00	2.13	2.50	4.88	2.75	2.75	2.88
14.00	3.00	1.25	6.25	1.63	3.63	4.13	2.88	2.50	4.25	2.38	3.00	1.00
15.00	0.63	0.50	1.63	4.50	2.63	2.25	4.63	3.50	4.63	2.75	5.00	1.13
16.00	2.50	1.63	1.25	4.50	3.50	2.13	5.88	6.13	2.88	3.75	5.50	1.88
17.00	2.63	5.38	1.00	1.38	6.00	5.63	3.38	5.13	2.25	1.75	4.38	5.38
18.00	0.63	4.13	1.63	3.38	5.75	5.63	3.50	3.00	2.38	2.25	3.38	5.50
19.00	0.00	4.88	5.50	8.38	4.00	3.75	4.13	2.00	2.00	2.63	2.88	2.00
20.00	2.75	6.88	6.00	5.13	4.63	6.00	5.50	3.88	2.00	3.63	0.88	2.25
21.00	3.50	7.13	3.38	7.38	4.00	6.75	2.75	2.88	5.00	3.13	3.38	4.25
22.00	3.00	2.88	2.88	5.38	2.50	7.75	5.00	3.75	5.25	4.63	3.00	4.88
23.00	5.25	3.00	2.13	3.00	3.25	7.88	5.38	4.75	3.50	6.25	4.88	3.13
24.00	6.88	5.00	3.00	4.63	5.25	7.63	3.38	4.00	2.75	3.88	1.75	0.88
25.00	5.75	4.25	2.00	2.00	5.50	6.38	3.13	3.13	2.38	3.00	2.00	0.88
26.00	2.38	2.25	3.38	3.50	5.25	3.50	2.00	4.38	3.13	1.00	1.13	1.88
27.00	2.75	6.00	5.88	7.50	3.25	4.50	4.75	5.88	3.25	2.00	3.38	1.25
28.00	5.50	3.00	4.63	5.00	2.13	5.75	2.38	4.13	3.13	3.00	1.63	1.13
29.00	5.38	3.24	2.38	3.25	3.25	5.00	4.00	4.88	3.00	0.88	1.13	2.50
30.00	3.24	3.24	5.50	3.38	6.88	2.75	4.25	2.88	3.00	1.00	0.25	2.50
31.00	4.65	4.65	5.13	4.65	7.75	4.65	4.13	5.63	4.65	1.63	4.65	3.63

الملحق ب-

يمثل الجدول التالي تغيرات معاملي الرفع C_l والدفع C_d بدلالة زاوية الهجوم α للمقطع الايروديناميكي SD8000-089-88 تم الحصول عليها من برنامج Qblade .

C_d	C_l	α	C_d	C_l	α
0.01104	0.356	1	0.26339	-0.7187	-20
0.0107	0.4131	1.5	0.25769	-0.7085	-19.5
0.01044	0.4625	2	0.2517	-0.699	-19
0.01033	0.5112	2.5	0.24512	-0.6885	-18.5
0.01037	0.5607	3	0.23792	-0.6767	-18
0.01071	0.6095	3.5	0.23049	-0.6643	-17.5
0.01135	0.656	4	0.22294	-0.6515	-17
0.01221	0.702	4.5	0.20962	-0.6418	-16.5
0.01339	0.7461	5	0.19592	-0.6188	-16
0.01462	0.7917	5.5	0.18826	-0.6019	-15.5
0.01628	0.835	6	0.18147	-0.5867	-15
0.0178	0.8806	6.5	0.17506	-0.5725	-14.5
0.01948	0.925	7	0.16892	-0.5592	-14
0.02196	0.9677	7.5	0.16243	-0.5467	-13.5
0.02367	1.0128	8	0.15594	-0.5357	-13
0.02737	1.0529	8.5	0.15164	-0.5316	-12.5
0.0301	1.0884	9	0.14574	-0.5222	-12
0.03295	1.1195	9.5	0.13839	-0.5127	-11.5
0.04127	1.132	10	0.13052	-0.5044	-11
0.04978	1.126	10.5	0.12225	-0.4966	-10.5
0.05659	1.1055	11	0.07512	-0.5117	-8.5
0.06398	1.0733	11.5	0.06057	-0.5358	-8
0.07389	1.0344	12	0.04745	-0.5556	-7.5
0.09317	0.9686	12.5	0.03684	-0.5609	-7
0.13776	0.8561	13	0.02867	-0.5451	-6.5
0.15148	0.8461	13.5	0.02332	-0.5121	-6
0.17347	0.8402	14	0.01948	-0.4732	-5.5
0.17831	0.8374	14.5	0.01745	-0.4291	-5
0.18656	0.8433	15	0.01621	-0.3857	-4.5
0.19465	0.8542	15.5	0.01583	-0.3415	-4

0.20273	0.8685	16	0.01454	-0.2938	-3.5
0.21817	0.8817	16.5	0.01355	-0.2468	-3
0.22314	0.8834	17	0.01243	-0.2001	-2.5
0.23118	0.8906	17.5	0.01162	-0.1546	-2
0.24492	0.9058	18	0.01146	-0.0828	-1.5
0.25655	0.9124	18.5	0.01145	0.0204	-1
0.26783	0.9185	19	0.01161	0.1098	-0.5
0.27837	0.9234	19.5	0.01161	0.1967	0
0.28724	0.9236	20	0.01141	0.2825	0.5

الملحق -ج-

لقد اعتمدنا لرسم الجناح في برنامج SolidWorks على الإحداثيات (x,y) للمقطع
الايروديناميكي SD8000-089-88 .

y	x	y	x
-0.00175	0.00022	0	1
-0.00749	0.0044	0.0003	0.99674
-0.01315	0.0137	0.0013	0.98711
-0.01814	0.0278	0.00321	0.97148
-0.02225	0.04677	0.00607	0.95032
-0.02544	0.07058	0.00984	0.92413
-0.02776	0.09914	0.01434	0.89343
-0.02929	0.13219	0.01936	0.85871
-0.03008	0.16941	0.02466	0.82042
-0.0302	0.21041	0.03	0.77899
-0.02969	0.25477	0.03521	0.73481
-0.02864	0.30202	0.04017	0.68831
-0.0271	0.35163	0.04478	0.63998
-0.02514	0.40307	0.04894	0.59034
-0.02284	0.45576	0.05256	0.53991
-0.02024	0.50913	0.05553	0.48921
-0.01744	0.56263	0.0578	0.43875
-0.01459	0.61566	0.05929	0.38905
-0.01179	0.66757	0.05996	0.34062
-0.0091	0.71773	0.05978	0.29395
-0.00662	0.76556	0.05872	0.24951

-0.00445	0.81047	0.05675	0.20775
-0.00268	0.85185	0.05389	0.16906
-0.00132	0.8891	0.05012	0.1338
-0.0004	0.9217	0.04548	0.10229
0.00013	0.94916	0.04	0.07476
0.00032	0.97105	0.03377	0.05142
0.00026	0.987	0.02686	0.03238
0.00009	0.99673	0.01948	0.01766
0	1.00001	0.01194	0.00729
		0.0046	0.00136



قائمة

المراجع

[1] **C.Masson** "Wind *technology*", Department of Mechanical Engineering, École de technologies supérieure SYS84, **2011**.

[2] L. Aiche-Hamane and A. Khellaf, "Evolution Mensuelle de la Ressource Eolienne à

travers l'Algérie," Revue Energ. Ren.: ICPWE, pp. 147-152, 2003.

[3] C. Kost, B. Pfluger, W. Eichhammer, M. Ragwitz, Fruitful symbiosis: Why an export bundled with wind energy is the most feasible option for North African concentrated solar power. Energy Policy, Energy Policy 39 (2011) 7136-7145 Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, Alger.

[4] <http://www.planete-eolienne.fr/>

[5] **M. B .Pascal**, « Une analyse des enjeux de la filière industrielle de l'éolien en matière d'innovation » de compétitivité et d'emploi, Institut pour l'Innovation et la Compétitivité ,14 mai **2013**.

[6] **O. Guerri** « L'Énergie éolienne en Algérie: Un bref aperçu », Centre de Développement des Energies Renouvelables Ministère de l'Enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique, Bulletin des Energies Renouvelables - N° 21 **2011**.

[7] **S.Diaf**, « Evaluation du potentiel éolien et estimation de la production d'une ferme éolienne dans la région d'Adrar », Séminaire International sur le Génie Climatique et l'Energétique, SIGCLE.2010, Tome I .ENODS, **1986**.

[8]https://mawdoo3.com/%D9%85%D8%A7_%D9%87%D9%8A_%D8%A3%D8%AF%D9%88%D8%A7%D8%AA_%D9%88%D8%A3%D8%AC%D9%87%D8%B2%D8%A9_%D9%82%D9%8A%D8%A7%D8%B3_%D8%A7%D9%84%D8%B1%D9%8A%D8%A7%D8%AD

[9]<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/>

[10] (B. Paluch, "Introduction à l'énergie éolienne," Revue REE, No. 5, pp. 35-50, Mai 2005.).

[11] Gary L. J., "Wind Energy Systems", Electronic Edition, October 2006.

[12] Mathew S., "Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2006.

[13] Nancy R. T., "Seven Basic Quality Tools", the Quality Toolbox Milwaukee, Wisconsin: American Society for Quality. p.15, Retrieved 2010-02-05, 2004.

[14] كتاب الاحتمالات الاحتمالات والإحصاء لدكتور رازم قديسية , من منشورات الجامعة الافتراضية السورية الجمهورية السورية

[15] المجلد 13 (استعمال بعض الطرائق لتقدير معلمات و معاليه -المجلة العراقية للعلوم الإدارية) نماذج الاحتمالي بالمركب الاسي وبيبل(مع تطبيق عملي م.م حيدر رائد طالب كلية لإدارة و الاقتصاد – جامعة سومر

[16] **M,Saïdou** , « *Etude du potentiel éolien du jet nocturne dans la zone sahélienne à partir des observations de radars profileurs de vent* » Thèse, l'Université Toulouse., France , **2010**.

[17] **J.L.Rétiveau**, « *Analyse de données expérimentales et conception d'un générateur numérique de vitesses de vent* ». Mémoire de recherche , l'université du Québec,2006

[18] **H, Bensaid** , « *The Algerian Programme on Wind Energy* ». Proceeding of WEAC, pp.21-27 Oxford .

[19] <https://webstore.iec.ch/publication/5433>

[20] **Said CHKIR** , « *Contribution a l'étude aerodynamique d'une eolienne par une methode desillage libre* », Thèse de doctorat , L'école Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, 2010- ENAM-0025 .

[21] **Anders Bjorck**, « *coordinates and calculations for the FFA-W1-xxx, FFA-W2-xxx and FFAW3-xxx series of airfoils for horizontal axis wind turbines* », Stockholm, 1990.

[22]cours turbou machine master 1

[23] <https://www.arageek.com/>

[24] SMALL WIND TURBINES MOUNTED TO EXISTING STRUCTURES

[25]Wind Turbine Tower Structure Analysis According to Wind Load in Terms of Cost Selcuk SAHIN.

[26] <https://e3arabi.com>

[27] <http://www.coofixx.com/info/what-is-an-angle-grinder-59759328.html>.

[28] مذكرة عبد اللطيف حسام إنشاء نفق هوائي ذو دائرة مفتوحة والقياس بجهاز

انيمومتر الليزري