أسامة محمد سليمان
2001/1/16

تصميم وتصنيع نماذج ريش توربين رياح

وإجراء الاختبار عليها

Design and Manufacture of wind turbine blades models and testing them

إعـــداد

هاني حسن موسي الحسن

ياسر عثمان مصطفي النقر

مشروع تخرج كمطلوب تكميلي لنيل درجة البكلاريوس

في الهندسة الميكانيكية

osama Mohammed Elwardi suleiman
Mechanical Engineering Department
Faculty of Engineering and Technology / Atbara
Nile valley University

قسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة والتقنية

جامعة وادي النيل

يناير ٢٠٠١م

الإهداء

إلي أمهاتنا

إلي آبائنا

إلي كل من علمنا حرفاً

إلي كل من ساعد أو أشرف وشارك في

تنفيذ أو تخطيط هذا المشروع

لكم جميعاً نهدي هذا العمل المتواضع

شكر وعرفان

إلي كل من أسهم في إنجاح هذا المشروع والشكر أولاً إلي

الأستاذ / أسامة المرضي

الذي لم يبخل علينا بأي معلومة متى ما طلب منه ذلك .

كما نخص بالشكر السادة / معهد أبحاث الطاقة (سوبا)

الذين كان لهم عظيم الأثر في مدنا بكل المعلومات المتوفرة

لديهم وتسهيل مهمتنا ، حيث كانت مكتبتهم متاحة لنا في جميع

الأوقات .

كما لا ننسي بالشكر السادة / مختبر الماكينات الكهربائية

بقسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية بالكلية .

والشكر موصول لجميع العاملين بورش الكلية لتعاونهم

التام معنا .

فلهم منا فائق الشكر والعرفان .

وجزاهم الله خير الجزاء

الفهرســـــت

الموضوع	رقم الصفحة
اهداء	II
شكر وعرفان	III
فهرست المحتويات	IV
ملخص	V
الفصل الاول : المقدمة	1
1.1 خلفية تاريخية	1
1.2 تطور استغلال طاقة الرياح فى العالم	1
1.3 استغلال طاقة تيارات الرياح فى السودان	5
الفصل الثانى : نظرية الجسيمات الهوائية	7
2.1 تعريف الجسم الهوائى	7
2.2 مصطلحات الجسيم الهوائى	8
2.3 المتغيرات الهندسية	9
2.4 انواع الجسيمات الهوائية	9
2.5 توليد قوتى الرفع والسحب	10
الفصل الثالث : نظريات اساسية عن توربينات الرياح	12
3.1 نظرية بيتز	12
3.2 القوة الايرودينميكية المؤثره على جناح متحرك تحت تاثير الضغط الجوى	15
3.3 ضغط الهواء فى السطح الخارجى لجناح غير منتظم	15
3.4 تغير المعاملات الايرودينميكية للرفع والسحب	17
3.5 ملاحظات عامه حول نظرية بيتز	18
الفصل الرابع : تصميم نمازج الريش وجهاز الاختبار واجراء الاختبارات	20
4.1 تصميم نمازج الريش	20
4.2.1 وصف جهاز الاختبار	24

4.2.2 عمل الجهاز 24
4.2.3 تغيير زوايا الريش 24
4.2.4 قياس القدرة 25
4.3 اجراء الاختبارات 25
الفصل الخامس : القراءات والنتائج 26
5.1 القراءات 26
5.2 عينة من كيفية اجراء الحسابات 28
5.3 النتائج 28
5.4 التعليق على المخططات وتحليل النتائج 28
الفصل السادس : الخاتمة والتوصيات 30
6.1 الخاتمة 30
6.2 التوصيات 30
المراجع 31
الملاحق
(أ) ملاحق مدرجات بيانية 32
(ب) ملاحق صور الفصل الاول 40
(ج) ملاحق جداول التصميم 43
(د) ملاحق صور النماذج وجهاز الاختبار 46
(هـ) ملاحق جداول نتائج القراءات 50
(و) ملاحق منحنيات نتائج القراءات 51

الملخص

هذا البحث هو سلسلة متصلة من البحوث التي يتـــم تنفيذهـــا بكليـــة الهندسة والتقنية عطبرة لمحاولة الاستفادة من الطاقـــة المتجـــددة (Renewable Energy) المتاحة بهدف تحوليها إلى شكل مناسب يتناسب مع حاجات الإنســـــان الأساسية .

الفصل الأول من هذا البحث يحتوي علي مقدمة تتناول خلفية تاريخيـــة لاستغلال طاقة تيارات الرياح في تشغيل محطات توليد القدرة علي مستوي العـــالم والسودان ، وعند نهاية هذا الفصل تم حصر الأهداف الأساسية لهذه الدراســـــة . الفصل الثاني يشـــــرح نظريـــة الجســـيمات الهوائيـــة (aero foils) ويُعـــرِّف المصطلحات العلمية المتعلقة بها . أما الفصل الثالث فيتعرض للنظريات الأساسية لتوربينات الرياح وملاحظات حول هذه النظريات . الفصل الرابع يتطرق لتصميم النماذج موضوع الدراسة وجهاز الاختبار المستخدم وخطوات أجراء الاختبـــارات بينما الفصل الخامس يوضح القراءات التـــــي يتـــم الحصـــول عليـــها والنتـــائج المستخلصة خلال جداول ، مخططات وعينة من كيفية أجراء الحسابات وتحليـــل هذه النتائج . أما الفصل السادس فيتضمن الخاتمة والتوصيات التي تبرر اســـتخدام مثل هذا النوع من مقاطع الريش ويعطي توصيات خاصة بتطوير هذا التصميم .

الملحق الذي يتم تقديمة عند نهاية هذا البحث يحتوي علـــــي جـــداول ، مخططات وصور فوتوغرافية خاصة بالنماذج التي يتم أجراء الاختبارات عليـــــها وجهاز الاختبار.

الفصل الأول

1.0المقدمة

1.1 خلفية تاريخية :

زيادة استهلاك مصادر الطاقة سنة تلو الأخرى بعد الثورة الصناعية التي عمت العالم قبل اكثر من قرن ونصف القرن هدد بنفاذها خاصة بعد اختراع الآلات والماكينات الحديثة والتي تبعها البحث عن مصادر الطاقة مثل الزيوت المواد المعدنية الأخرى والتسابق المحموم في محاولة امتلاك الأشكال المتاحة من الطاقة بأي وسيلة ومحاولة تحويلها إلى منتجات أو خدمات لرفاهية الإنسان ، هذا التسابق الجنوني شجع العلماء والباحثين لعمل لكل ما في وسعهم لإنقاذ موارد العالم المحدودة .

وهكذا فانه قد تم توجيه البحث العلمي ناحية أيجاد مصادر أخرى للطاقة تكون مستمرة وأبدية مثل الطاقة المتجددة التي تشمل طاقة الشمس ، تيارات الرياح ، الغازات الحيوية ، الحرارة الكامنة في باطن الأرض وطاقة تيارات المياه وغيرها . هذه الأشكال من الطاقة يمكن الاستفادة منها بتكلفة تشغيل صغيرة جدا i.e. (تقريبا معدومة) لحل مشاكل الطاقة كليا أو جزئيا في بلدان عديدة خلال هذا العالم . ولكن المشكلة الآن تكمن في التكاليف الإنشائية المتصاعدة لإنشاء وحدات التحويل التي بمقدورها تحويل هذه الطاقة الخام إلى أشكال مفيدة .

طاقة تيارات الرياح هي من إحدى أنواع الطاقة المتجددة التي تتسم بالاستمرارية والديمومة والتي يمكن استخلاصها والاستفادة منها في كثير من التطبيقات الهندسية التي تحتاج لقدرة بسيطة مثل تشغيل طلمبات صغيرة الحجم لري حيازات صغيرة أو توليد قدرة كهربائية لإضاءة المنازل وغيرها .

1.2 تطور استغلال طاقة الرياح في العالم :

إنشاء حالة الرياح نتيجة لتغير درجة حرارة الهواء عند ملامسته الأرض فهو يبرد ليلا ويسخن نهارا وذلك للتباين في مقدار الطاقة الشمسية والضغط بين المناطق المدارية والمناطق القطبية في العالم . فتختلف سرعة الرياح كثيراً من مكان لاخر فهي في بعض الأحيان تكون علي هيئة نسمة لطيفة

وفي بعضها الأخر تزداد سرعتها زيادة كبير قد تصل إلى حد العاصفة أو الإعصار . وقد وضع أميرال بريطاني عاش في القرن التاسع عشر ويدعي السير فرانسيس بوفورت مقياس تقريبي للرياح علي أساسه قيست قوة رفع الرياح لاشرعة السفن الشراعية المستعملة في ذلك الحين وعرف باسم مقياس بوفورت لسرعة الرياح ومازال مستعملا حتى اليوم .

الرياح ذات السرعة 46 km/h الى 62 km/h التي تؤدي إلى انكسار أطراف فروع الأشجار لا تصلح للاستخدام في الطاقة لما تحدثه من خراب ودمار ، ويجب عند اختيار الإمكان التي تقام عليها التجهيزات لاستخدام طاقة الرياح مراعاة ان تكون مناسبة ولها صفة الدوام طول العام .

وقد ثبت في بعض الدراسات التي أجريت في هذا المجال ان سرعة الرياح في منطقة العوينات تبلغ في المتوسط ثمانية أمتار في الثانية أي 30 km/h وهي سرعة مناسبة تكفي لتوليد قدر من الكهرباء من مراوح كهربائية قطر كل منها نحو عشرين مترا حيث يمكن عن طريقها استخراج المياه من الآبار الارتوازية لري نحو 250000 فدان من الأراضي القابلة للزراعة في هذه المناطق .

كذلك من بعض الدراسة التي قام بها فرق مكلف من وزارة الطاقة المصرية ان بمنطقة خليج السويس سرعات هواء عالية قد تصل قدرتها إلى حوالي 1000 MW وهي تعادل محطة قدرة توربينية كبيرة .

وهنالك مشروعات لتوليد الكهرباء واستخراج المياه من باطن الأرض في راس غاب ، الفردقة ولصناعة الثلج المجروش بأسوان . ومن المنتظر ان يتسع مجال استخلاص طاقة الرياح لتوليد الكهرباء واستخراج المياه من باطن الأرض في كثير من البلدان . حيث ان هذه المحطات قليلة التكاليف ويمكن تصنيع كثير من أجزائها محليا وكل ما تتطلبه مرور رياح متوسطة السرعة طوال العام .

وفي هولندا استخدمت سرعة الرياح في تحريك طواحين الهواء التي أقيمت علي ساحل البحر واستعملت فيها مراوح ضخمة تحركها الرياح لتحرك بدورها الطاحونة الموجودة بقاع البحر.

المروحة التي قطرها 8 m تستطيع ان تنتج حوالـــي 3.2 KW مـــن الكهرباء وهذا يكفي احتياجات المنزل العادي .

وتتميز هذه المحطات بعدم صدور ضوضاء لذا يمكن أقامتها قريبا من الوحدات السكنية بجانب أنها توفر من استهلاك الوقود وبالتالي تقلل مـــن التكلفـــة الكلية للمولدات .

هنالك العديد من الدول أعدت دراسات وبحوث في طاقة الرياح وتـــم تطوير هذه الدراسات وتغيير التصميم في كل مرحلة حتى الوصول إلى التصميـــم الأمثل ويكون محتويا علي انظمه كمبيوتريـــة لتحديـــد الســـلوك الايرودنميكـــي والديناميكي لتوربينات الرياح . وارتباط هذا السلوك مع المعلومـــات التصميميـــة المتوفرة متن العمل العملي لتوربينات الرياح أدى إلى تطور سريع ، وعلي وجـــه الخصوص برنامج طاقة الرياح المقدم من الولايات المتحدة الأمريكية عام 1973م والذي قدم أول نتيجة ملموس ومرئية بـــالقرب مـــن CLEVELAND بولايـــة OHIO عام 1975م وهذا التوربين (MODO) والذي له قطر 38 m وريشـــتان وهو توربين رياح ذو محور أفقي ، وذو قدرة تصل إلى 100 KW .

وتبع هذا النوع أربعة أنظمة مشابه تدعي (MOD OA) (ملحق شكل رقم (1.1))والتي شيدت في مواقع بيـــن (HAWAII) و(PUERTO RICO) بين الأعوام 1977 و 1980م وأيضا لها قطر 38 m . وتم تشييدها فـــي مواقـــع ذات سرعة رياح عالية بغرض زيادة القدرة إلى 200 KW .

توربينات الرياح تعمل بالكامل دون الحاجة للمراقبة وذلـــك باســـتخدام معالج دقيق للتحكم ، عندما تكون سرعة الرياح كبيرة تعطي اكبر قدرة خارجة مع مراعاة التوافق الذي يحدث في المنظومة ، وأيضا يعمل نظام المؤشر أو الدليـــل الأوتوماتيكي للدوار بمواجهة الرياح والتوقف الأوتوماتيكي عندما تكـــون ســـرعة الرياح عالية أو منخفضة جدا أو هنالك خطا قد حدث ، كل هذه الأنظمة أدت إلـــى التطور السريع لتوربينات الرياح .

في عام 1981م اكتملت المحاولات لانتاج توربين رياح كبير يقوم بتوليد 2.5 MW بقطر 91 m ومكون من خمس توربينات (BOEING MOD2) موضح في الشكل (ملحق 1.2) .

هذه التوربينات احتوت علي بعض التطورات مثل تقليل الوزن والتكلفة حيث أمكن اختيار برج ذو وزن خفيف وتكلفة اقل.

وهنالك العديد من التوربينات أكملت بعد عام 1980م منها (WTS3,WTS4) التي صنعت عن طريق – شركة (HAMILTON- STANDEARD) U.S بالتعاون مع شركة سويدية ، WTS وهي اختصار ل(WIND TURBINES SYSTEMS) ، ولها قطر 78 m وذات محور أفقي وريشتان صنعتا من مركبات الألياف الزجاجية (FIBER GLASS) ، والتي أنتجت قدرة مقدارها 4 MW .

يتم في اغلب الأحيان صنع التوربينات من ريشتان ولكن الدوار ذو الثلاث ريش اثبت كفاءة عالية ، تم ملاحظة ذلك في التوربين ذو القطر 56 m والذي صمم عن طريق شركة (MAN) عام 1989م . واستمر التطور في التوربينات الكبيرة ذات المحور الأفقي ، ففي المملكة المتحدة شيدت مجموعة طاقة الرياح توربين ذا قطر 60 m له ريشتان انتج 3 MW وأيضا شيدت المجموعة توربين رياح ذا حجم صغير نسبيا له قطر 25 m انتج 250 KW وله ثلاث ريش حيث أنشئت منه 20 توربين في كاليفورنيا لوحدها في عام 1986م.

نجد ان التطور الذي حدث في توربينات الرياح في الدانمارك ونيوزيلندا اختص بالمقاسات المتوسطة والتي لها قطر يتراوح بين 10 m وحتى 20 m كما موضح في الشكل (1.3) لها قطر 15 m وقدره مقدارها 55KW .

كما ان هنالك أيضا استغلال للتوربينات المتوسطة في الولايات المتحدة حيث تم إنشاء حقول في ولاية كاليفورنيا كما موضح في الشكل (1.4) و (1.5) .

نلاحظ ان التوربينات في الشكل (1.5) عبارة عن توربينات رياح ذات محور رأسي وقد بدا تشييدها في عام 1970م في كندا ، ولكن التوربينات الكبيرة قد تم تشييدها منذ فترة طويلة حيث تم الحصول علي 4MW عن طريق قطر

دوار مقداره 64 m وعند ارتفاع 94 m ولها سرعة دوران منخفضة حوالي 14 لفة في الدقيقة .

وقد تم تطوير النموذج الأول للتوربينات الراسية بواسطة شركة (AXIS WIND TURBINE LTD) حيث تم الوصول إلى قدرة مقدارها 130 KW مع قطر 25 m عام 1986م وتم تشييدها في (CARMARTHENBY) في ويلز الجنوبية (ملحق شكل رقم (1.6)) .

يمكننا ان نحصل من التوربينات الراسية علي قدرة كبيرة مقارنة بالتوربينات الأفقية ، نجد انه مع قطر مقداره 200 m يمكن الحصول علي قدرة مقدارها 20MW .

نجد ان التطور مع مرور الزمن دائما في حالة تقليل في حجم المنظومة وزيادة القدرة الخارجة منها ، لتقليل التكلفة الكلية للمنظومة .

1.3استغلال طاقة تيارات الرياح في السودان: -

استغلال طاقة تيارات الرياح بالسودان ضعيف جدا نسبة لضعف حركة الرياح ، حيث هنالك إحصاءات من محطة الأرصاد الجوي لمتوسط سرعة تيارات الرياح لمدن عديدة في السودان يمكن من خلالها تحديد المناطق التي يمكن ان تستفيد من هذه الطاقة . فنجد ان متوسط سرعة الرياح للأعوام من 1961 إلى 1992م في المدن المذكورة في الجدول أدناه كآلاتي :

متسلسل	المدينة	متوسط سرعة الرياح (m/s)
1	كريمة	3.57
2	الخرطوم	3.33
3	عطبرة	2.63
4	نيالا	3.20
5	الفاشر	2.37
6	ود مدني	3.13
7	القضارف	2.77
8	بور تسودان	3.00

ملحق مخططات إحصائية من صفحة (32) إلى صفحة (39) .

من المعلوم ان السودان يتأثر بالرياح الشمالية الشرقية الجافة في فصل الشتاء والرياح الجنوبية الغربية الرطبة في فصل الصيف ، تبعا لحركة الفاصل المداري شمالا أو جنوبا والذي يعتمد بدوره علي توزيعات الضغط الجو ودرجة الحرارة . ففي فصل الصيف مثلا يتحرك الفاصل المداري إلى أقصى شمال السودان أو الناحية الجنوبية لمصر مما يجعل المناطق أو جميع أنحاء البلاد جنوب الفاصل المداري عرضة للرياح الجنوبية الغربية الرطبة ، بينما يتحرك الفاصل المداري في فصل الشتاء إلى أقصى الجنوب مما يجعل المناطق التي تقع شمال الفاصل المداري متأثرة بالرياح الشمالية الشرقية الجافة .

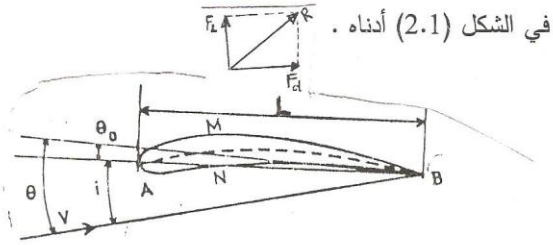
من الجدول السابق يلاحظ ان سرعة الرياح في السودان ضعيفة جدا بحيث لا توجد جدوى اقتصادية أو فنية لاستخلاصها لإنشاء محطات توليد ضخمة . ولكن يمكن اعتبار الولاية الشمالية وولاية الخرطوم والجزيرة بالإضافة إلى ساحل البحر الأحمر كأفضل مناطق في السودان تعطي سرعات نسبيا افضل من غيرها لإقامة مشاريع صغيرة تعمل بتيارات الرياح مثل إنارة المنازل وغيرها.

الفصل الثانى
نظرية الجسيمات الهوائية

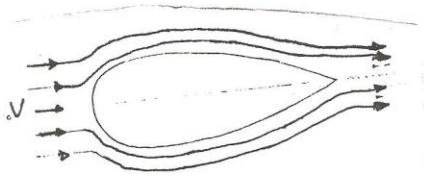
2.1 تعريف الجسم الهوائى :

الجسم الهوائى هو عبارة عن جسم انسيابى يتم تصميمه لانتاج قوة رفع بأقل قوة للسحب . لجسم انسيابى مغمور فى مائع منساب ، نجد أن نقطة الانفصال تكون عند المؤخرة وهذا سيخفض قوة السحب على الجسم الانسيابى الى أدنى قيمة ، يمكن أن تكون قوة السحب الواقعة على الجسم الانسيابى حوالى 1/15 من السحب الواقع على اسطوانة بنفس السمك .

الشكل الاساسى والمهم في الجسم الانسيابى هو المسلوب البطئ للذيل ، كما موضح في الشكل (2.1) أدناه .



الشكل(2.1)



الشكل(2.2)

2.2 مصطلحات الجسيم الهوائى :

يمكن تعريف مصطلحات الجسم الهوائى من الشكل (2.1) كما يلى :

2.2.1 الحافة الامامية :(Leading edge)

هى الحافة التى يمر بها الانسياب فى الاول ويطلق عليها فى بعض الاحيان الانف ، النقطة (A) وهى ابعد نقطة من (B).

2.2.2 الحافة الخلفية : (Trailing edge)

هى النهاية البعيدة للجزء الخلفى للجسيم الهوائى ، النقطة (B).

2.2.3 خط الوتر : (Chord Line)

هو مستقيم يتم رسمه لوصل الحافتين A و B مع بعضهما البعض

2.2.4 خط التقوس :(Camber Line)

هو الخط الذى يصل بين الحافتين A و B بحيث يمر خلال مركز المساحة للجسم الهوائى .

2.2.5 زاوية السقوط :(Angle of Incidence)

هى الزاوية التى يصنعها خط الوتر للجسيم الهوائى مع اتجاه انسياب المائع ويطلق عليها في بعض الاحيان زاوية الهجوم .

2.2.6 زاوية الرفع الصفرية : (θo) (Zero Lift Angle)

وهى الزاوية المحصورة بين الوتر وخط الرفع الصفرى .

2.2.7 زاوية الرفع : (θ) (Lift Angle)

وهى الزاوية المحصورة بين خط الرفع الصفرى ومتجه سرعة الهواء V عند أعلى الانسياب .

ونجد أن :

$$i = \theta + \theta o$$

حيث أن θo تكون سالبة ، و i قيمتها موجبة .

2.3 المتغيرات الهندسية (Geometrical Parameters) :

يتم تحديد خواص مقطع الجسيم الهوائي ببعض المتغيرات التى يمكن تعريفـــها كما يلي :-

2.3.1 نسبة (t/c):-

هي النسبة بين السمك الاقصى (t) وخط الوتر (c) .

2.3.2 نسبة (x/c) :-

هي النسبة بين موضع السمك الاقصى بعد الانف وطول الوتر (c) .

2.3.3 النسبة المئوية للتقوس (Percentage Camber) :-

هي النسبة بين التقوس الاقصى وطول الوتر ويعبر عنها كنسبة مئوية .

2.3.4 النسبة المئوية لنصف قطر الانف (Percentage Nose Radius) :-

هي نصف قطر التقوس للانف بالنسبة لطول الوتر .

2.3.5 زاوية الحافة الخلفية (Trailing edge Angle) :-

هي الزاوية بين السطوح العليا والدنيا عند الحافة الخلفية .

2.4 أنواع الجسيمات الهوائية :-

يمكن تصنيف الجسيمات الهوائية عموما الي نوعين رئيسيين همـــا : جســيمات هوائية متماثلة وجسيمات هوائية غير متماثلة .

2.4.1 الجسيمات الهوائية المتماثلة (Symmetric Aerofoils) :-

الشكل الاساسي لهذا النوع هو ان خط التقوس يتطابق مع خط الوتر . من النادر استخدام هذه الجسيمات الهوائية ، لاننا لايمكن ان نتحصل على قيم رفع اعلـــى وقيـم سحب ادنى بانواع اخرى من الجسيمات الهوائية . الشكل رقم (2.2) .

2.4.2 الجسيمات الهوائية الغير متماثلة (A symmetric aerofoils) :-

يمكن تحسين النسبة بين قوة الرفع وقوة السحب (F/ F) باستخدام جسيمات هوائية غير متماثلة . وفي هذه الجسيمات فان خط التقوس لا يتطابق مع خط الوتر . النوع بسط للجسيمات الهوائية غير المتماثلة يسمى بالجسيمات الهوائية المقوسة حيث يكون خط التقوس عبارة عن قوس دائري . في الجسيمات الهوائية المقوسة يمكن تقويس الوجهين العلوي والسفلي في اتجاه واحد أو بجعل الوجه العلوي مقوسا بينما الوجه السفلي مستقيما كما هو واضح في الشكل (2.3 a)،(2.3 b) .

2.5 توليد قوتي الرفع والسحب :-

إذا وضع جسيم هوائي في جدول من المائع المنساب فان خطوط السريان حول الجسيم الهوائي ستنحرف مسببة انخفاض في الضغط على السطح العلوي وزيادة له على السطح السفلي . نتيجة لهذا الاختلاف في الضغط ستتولد قوة يمكن تحليلها إلى مكونة موازية لاتجاه انسياب المائع معطية قوة السحب (F) ومكونة ثانية متعامدة مع اتجاه السريان الرئيسي معطية قوة الرفع (F) . شكل 2.1 .

قوتي السحب والرفع هاتين يمكن التعبير عنهما بدلالة القوة الديناميكية القصوى F_{max} والتى تعطي بالصيغة التالية :-

$$F_{max} = \frac{1}{2} \rho V_r^2 A \quad (N) \quad \text{.....(2.1)}$$

حيث : -

ρ = (kg/m^3) كثافة الهواء

V_r = (m/s) السرعة النسبية بين المائع المنساب والجسم

A = (m^2) المساحة الاسقاطية على خط الوتر

قوة الرفع تكون كالآتي :-

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho V_r^2 A \quad (N) \quad \text{.....(2.2)}$$

و قوة السحب هي :-

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho V_r^2 A \quad (N) \quad \text{.....(2.3)}$$

حيث :-

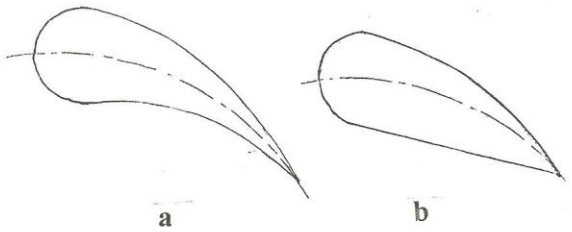
C_L = معامل الرفع

C_D = معامل السحب

النسبة (F_L / F_D) او (C_L/C_D) تعتمد على زاوية السقوط (i) وبعض المتغيرات الهندسية الأخرى .

افضل زاوية للسقوط هي التى تعطي أقصى قيمة لـ(C_L/C_D) . بزيادة زاوية السقوط من الصفر ، فان الضغط السالب يزداد على السطح العلوي للريشة خاصة في اتجاه الحافة الأمامية وبزا يزداد الرفع كيفما ، وبالزيادة الاضافية لزاوية السقوط فان انفصال الانسياق ينتشر بسرعة فوق السطح ، وان الضغط السالب ينقص .

أداء اى ريشة لجسيم هوائي يمكن رسمها فى مخطط يوضح تغييرات معامل الرفع (C_L) ومعامل السحب (C_D) بزاوية سقوط (i) ، الشكل (3.4) يوضح التغييرات لـ (C_L) و (C_D) مع (I) .



الشكل(2.3)

3.0 الفصـــــل الثالث

نظريات أساسية عن توربينات الرياح

الماكينات المستخدمة لإنتاج وتوليد الطاقة من الرياح يمكن أن تقسم أو تصنف في مجموعتين :-

أ - ماكينات المحور الرأسي (العمودي) vertical - axis machine

ب-ماكينات المحور الأفقي - horizontal axis machine

وعموما تهتم نظرية بيتز فيما يتعلق بماكينات الرياح ذات المحور الأفقـــي فيما تقيم ماكينات المحور الراسي عن طريق المقارنة مع القيم القصوى المأخوذة من معادلة بيتز . سيتم في هذا الباب توضيح القوة الأيروديناميكية التي تؤثر علي ريش المحور الأفقي بنوعيها :-

أ - الريش ذات المقطع الانسيابى

ب- الريش ذات المقطع المستطيل

3 -1 نظرية بيتز :- Betz Theory

أول ظهور لنظرية توربينات الرياح كان عن طريق (أ .بيتز) من معهد جوتنفن .

افترض بيتز أن دوار رياح حقيقي لا يحتوي علي صره (HUB) ويحتوي علي عدد لانهائي من الريش ، كما أنه لا توجد أي مقاومة جر للـــهواء المار من خلالها . أي أنها عبارة عن عملية استخلاص تام للطاقة .

لاحقا أضاف افتراض ظروف مساحة الهواء المكتسحة بواســطة الــدوار منتظمة ، كما أن سرعة الرياح خلال الدوار تكون محورية تماما.

نفترض الآن دوار رياح حقيقي " Ideal " في حالة سكون ثم وضع فـــي هواء جوي متحرك ، كما في الرسم التالي :-

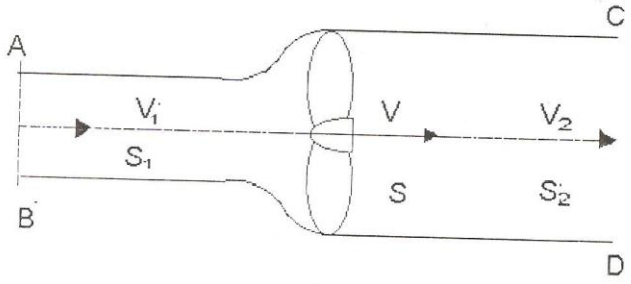


fig 3-1

أفترض " V_1" سرعة الرياح علي بعد مسافة معينة قبل الدوار .

" V " سرعة الرياح التي تمر فعليا من خلال الـــدوار ، ونفـــترض أنـــها منتظمة علي طول المساحة S المكتسحة بواسطة الريش .

"V_2" سرعة الرياح بعد عبورها الدوار علي بعد معين منه .

S_1، S_2 هما مساحة مقطع انسياب الهواء المار خلال الدوار اعلى وادنى الانسياب على التوالى .

عليه فإن الطريقة الوحيدة لاستخلاص طاقة ميكانيكية بواسطة الدوار تتـــم عن طريق تقليل طاقة حركة الهواء، وبالتالي فإن $V_2 < V_1$، ويتبـــع هـــذا النقصان في السرعة زيادة في مساحة الرياح الموجهة نحو الدوار فتصبح $S_1 < S_2$.

إذا افترضنا أن الهواء غير قابل للانضغاط، معادلة الاستمرارية (ثبـــات الكتلة المارة) يمكن أن تكتب هكذا :-

$$S_1 V_1 = SV = S_2 V_2$$

القوة المنقولة إلي الدوار من الرياح يمكن أن تعطي من نظرية " أويلـــر" وهي :-

$$F=\rho S V (V_1-V_2).....(3.2)$$

$\rho=(Kg/m^3)$ كتلة الهواء النوعية

عليه فإن الطاقة الممتصة تكون :-

$$P = F\ V = \rho S V^2 (V_1 - V_2) \quad \text{-----------} (3.3)$$

كما ذكرنا سابقا فإن هذه القدرة أخذت من طاقة الحركة .

التغير في طاقة الحركة يكون :-

$$T = 0.5\ \rho S V (V_1^2 - V_2^2) \quad \text{-----------} (3.4)$$

وبمساواة الصيغتين P، T نتحصل على الآتي :-

$$V = (V_1 + V_2)/2 \quad \text{-----------} (3.5)$$

عليه فإن القوة المنقولة إلي الدوار والقدرة المتولدة تعطي في الصيغتين الآتيتين :-

$$F = 0.5\ \rho S (V_1^2 - V_2^2) \quad \text{-----------} (3.6)$$

$$P = 0.25\ \rho S (V_1 + V_2)(V_1^2 - V_2^2) \quad \text{-----------} (3.7)$$

لدراسة التغير في القدرة كمتغير في السرعة V_2 مع معلومية V_1 وعن طريق التفاضل نجد أن :-

$$dp/dv_2 = 0.25\ \rho S (V_1^2 + 2 V_2 V_1 - 3 V_2^2)$$

المعادلة :- $dp/dv_2 =$ لها حلان هما :-

الأول :-

$V_1 = - V_2$ وهذا لا يوجد له تفسير فيزيائي .

الثاني :-

$V_2 = V_1/3$ وهذا يعني عند القدرة القصوى

وبتعويض القيمة العملية لـ V_2 في صيغة القدرة " P " نتحصل علي القدرة القصوى المتولدة وهي :-

$$P_{max} = 0.3\ \rho S V_1^3 = 0.37 s V_1^3 \quad \text{-----------} (3.8)$$

خذ ρ كتلة الهواء النوعية هي 1.25Kg/m3

وهذه الصيغة تعطي معادلة أو صيغة لينز وهي أوجدت وفقا لجميع الافتراضات السابق ذكرها.

3-2 القوة الأيروديناميكية المؤثرة علي جناح متحرك تحت تأثير الضغط الجوي:-

نفترض هنا أن الجناح " Wing" ثابت والهواء يتحرك بنفس سرعة الجناح ولكن في الاتجاه المعاكس، فإن القوة الأيروديناميكية المؤثرة علي الجناح تكون نفس القوة في حالة سكون الهواء وتحرك الجناح .

هذه هي نظرية عمل النفق الهوائي " wind tunnel" حيث يتم تثبيت الجسيم المراد إجراء الاختبار عليه داخل النفق ثم يتم ضخ هواء بنفس مواصفات وظروف الهواء الذي يتوقع أن يطير أو يتحرك فيه الجسيم ، وبناء عليه يتم معرفة مواصفات الجسيم وخواصه من متانة وجساءة وغيرها .

من هنا نستخلص أن حركة الجسيم في الهواء يمكن أن تؤخذ في شكل حركة الهواء وثبوت الجسيم .

القوة الممتصة بواسطة الجناح تعتمد فقط علي السرعة النسبية للرياح وزاوية الهجوم . ولشرح هذا التعبير دعنا نعتبر جناح ساكن في هواء متحرك في مسار لا نهائي بسرعة V.

3-3 ضغط الهواء في السطح الخارجي للجناح غير منتظم :-

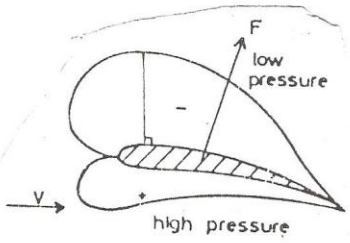
في السطح العلوي هنالك انخفاض في الضغط ، وفى السطح السفلي هنالك زيادة في الضغط ولتوضيح هذا التغير في الضغط بيانيا ، دعنا نقوم برسم خط متعامد علي سطح المقطع لجزء بطول Kp :-

$$K_p = \frac{P - P_0}{0.5\,\rho\,V^2}$$

P= الضغط الإستاتيكي في نقطة الأصل للخط المتعامد علي السطح

حيث V.Po. ρ هى الاحوال عند اعلى الانسياب اللانهائى التى هى احوال الانسياب غير المطرب البعيد من مقطع الشكل .

بتوصيل حواف التقسيمات المتعدده لـــ K_P نتحصل على المنحنى الممثل فى الشكل رقم (3.2) . تكون قيم KP سالبه لنقاط السطح العلوى وموجبه لنقاط السطح السفلى .



الشكل (3.2)

محصلة القوى الاولية المتعددة التى تعمل على الجناح هى القوة F وهى عموما تكون مائله بالنسبة لاتجاه السرعة النسبية وتعطى بالتعبير التالى :-

$F=1/2\ \rho C_r S V^2$ .....(3.10)

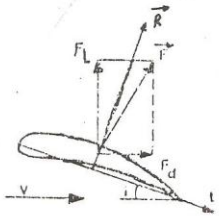
حيث :-

ρ= الكتلة النوعية للهواء .

S= المساحه المساوية لحاصل ضرب الوتر × طول الجناح .

Cr = المعامل الايروديناميكى الكلى .

هذه القوة يمكن تقسيمها الى مركبتين كما موضح فى الشكل (3.3).



الشكل (3.3)

بالتالى فان القوة الايروديناميكية علي مقطع الجسيم الهوائي يمكن تمثيلها بقوى الرفع ، السحب وعزم اللف . عند أي قيمة لزاوية السقوط ، ستكون هنالك نقطة معينة واحدة C يكون عزم القوي الايروديناميكية F حولها مساويا للصفر .هذه النقطة الخاصة تسمي مركز الضغط .

التاثيرات الايروديناميكية علي المقطع الانسيابي بقوى الرفع والسحب اللذين يعملان على تلك النقطة .

يتم تحديد مركز الضغط بالنسبة للحافة الامامية من العلاقة :

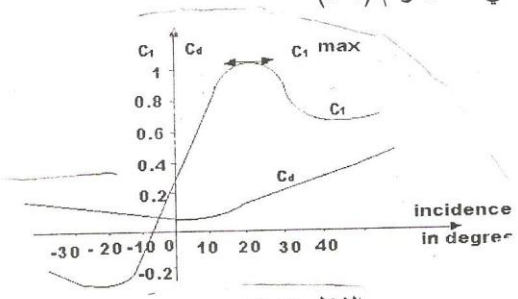
$$CP = AC/AB = X_L/L = Cm/C_L$$

عادة $CP = 25\% - 30\%$

3.3 تغير المعاملات الايروديناميكية للرفع والسحب :-

3.3.1 تغير معاملات الرفع والسحب بالنسبة لزاوية السقوط :-

يتم توضيح التغير كما في الشكل رقم (3.4)



الشكل (3.4)

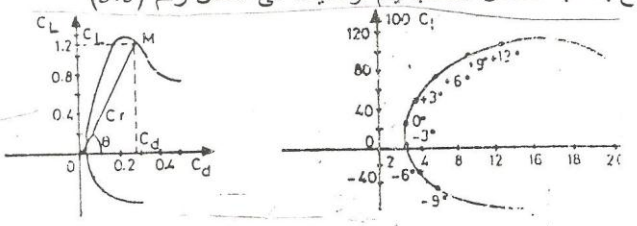
اعتبر اولا تغير معامل الرفع ، حيث يتكون المنحنى الذى يمثله من خط مستقيم يتقوس عند القيمة العليا CL max ، عند زاوية سقوط i_M وهى تعرف بنقطة التثبيت .

بعد نقطة التثبيت ، ينخفض معامل الرفع حيث ان الخط الذى يمثله يتقوس بزاوية سقوط سالبة . وC_L يمر خلال قيمة دنيا C_L min.

منحنى التغير لمعامل السحب يكون مختلفا حيث يكون C_d عند أدنى قيمة له لقيمة معينة لزاوية السقوط .

3.3.2 تغير معامل الرفع مع معامل السحب (Eiffel polar) :-

تغير معامل الرفع بالنسبة لمعامل السحب يتم توضيحه فى الشكل رقم (3.5)



الشكل (3.5) *The Eiffel polar.*

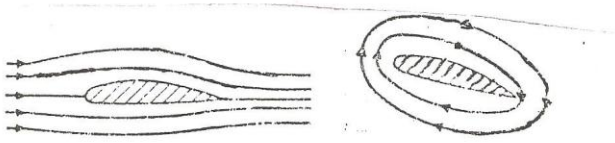
منحنى الخط المستقيم OM هو $\tan\theta=C_L/C_d$.

عندما يكون OM مماسا لمنحنى C_L/C_d ، فان $\tan\theta$ يكون عند قيمته القصوى و C_L/C_d يكون عند ادنى قيمة له .

منحنى التغيير عادة ما يتم تدريجه بقيم زاوية السقوط .

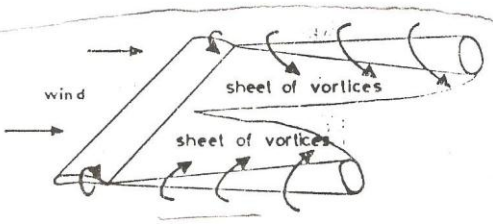
(3.4) ملاحظات حول نظرية بيتز .

طبقاً لنظرية بيرنولى ، فان سرعة السريان فوق الجناح تكون اكبر واسفله تكون اقل من الانسياب غير المضطرب بعيدا عن مقطع الجسيم الهوائى . هكذا ، فن الانسياب جول الجسيم الهوائى يمكن اعتباره كاتحاد بين نوعين مختلفين من الانسياب . النوع الاول يكون انسيابا متعامدا حول الجسيم الهوائى عند خط رفع صفرى عندما يتم وضع الجسيم الهوائى فى سريان منتظم . النوع الاخر يكون انسيابا حيث يدور الهواء حول الجسيم الهوائى الى الامام على السطح السفلى والى الخلف على السطح العلوى . رفع الجسيم الهوائى يكون مرتبطا بالاخير ، كما فى الشكل رقم (3.6) .



الشكل (3.6)

النتائج السابقة يتم تطبيقها فقط فى اجنحه تمتلك اطوال غير محدده . وهذه النتائج يجب تصحيحها فى حالة جناح محدود الطول . يكون الضغط على السطح السفلى لجناح رفع اكبر من الجو المحيط بينما يكون الضغط على السطح العلوى اقل . هكذا ، عند الحواف يميل الهواء للانسياب من السطح السفلى الى السطح العلوى . وتكون النتيجة هى خلق دوامات عند حواف الجناح . حقيقة ، هنالك دوامات عديدة صغيرة تظهر على طول الجناح بسبب تاثير الحواف . هذه الدوامات الصغيرة تقود لدوامتين كبيرتين على حواف الجناح . الشكل رقم (3.7).



الشكل (3.7)

النتيجة المترتبة لخلق هذه الدوامات هى زيادة قوة السحب . يحدث هنالك سحب حتى يضاف الى سابقة.

$$F_{di}= 1/2\ \rho\ C_{di}\ S\ V^2$$

وهكذا فان معامل السحب يصبح :

$$C_d=C_{do}+C_{di}$$

حيث C_{do} هو معامل السحب لجناح غير محدد الطول .

للحصول على نفس معامل الرفع فان زاوية السقوط يجب زيادتها بالكمية Ø.

بالتالى فان زاوية السقوط الجديدة للحصول على نفس الرفع هى :

$$i= i_o+ Ø$$

فى ميكانيكا الموائع ، عندما تكون اعادة تقسيم للدورة اهليجى . يمكن توضيح ان C_{di} و Ø تعطى بالعلاقات التالية :

$$C_{di}=(S/L^2).(C_L{}^2/ \pi)=C_L{}^2/ \pi a$$

$$Ø =(S/L^2).(C_L/ \pi)=C_L/ \pi a$$

حيث :

S هى مساحة الجناح .

L هو الطول .

a هى النسبة (L^2/S) .

الفصل الرابع

4.0 تصميم نمازج الريش وجهاز الاختبار واجراء الاختبارات

4.1 تصميم نمازج الريش :

يعتمد نوع الريش على الغرض من توربينة الرياح او طبيعة عملها كما يعتمد ايضا على سرعة الرياح . فمثلا اذا اردنا تركيب توربين رياح لتوليد طاقة كهربائية في مكان به رياح ذات سرعة عالية ، فمن الافضل اختيار دوار رياح سريع وتكون له نسبة سرعة طرفية λ_o في المدى من 5 الى 8 وستكون الماكينة ذات ريشتين او ثلاثة ريش .

اما اذا اردنا ضخ مياه في مكان ريفي به رياح منخفضة او متوسطة السرعة ، يمكن استخدام دوار متعدد الريش مع نسبة سرعة طرفية تتراوح من 1 إلى 2 عمليا فان عدد الريش يعتمد على النسبة λ_o وهي النسبة بين سرعة طرف الريشة وسرعة الرياح قبل الماكينة .

4.1.1 تصميم الريش ذات المقطع الانسيابي :-

يتم تحديد نسبة النموزج إلى الشكل الحقيقي بناءاً على قطر جهاز الاختبار وهي نسبة 1 : 8 .

من الجدول (1) في الملحقات وباستخدام الاستكمال يمكن تحديد قيمة N

$N = 285$ rpm

λ_o = Tip Speed Ratio

تم أخذ البيانات التالية من ديباجة مروحة ضخ الهواء :-

$Q = 100\ m^3 / min$

$= 1.667\ m^3/s$

$d = 0.5m$

حيث :

Q هي معدل انسياب الهواء الحجمي

d هي قطر الدوار النموذج

ومنها يتم حساب مساحة المقطع A

$A = (\pi/4) . d^2 = (\pi/4) * 0.5^2 = 0.196\ m^2$

وسرعة الانسياب V يمكن حسابها من معادلة الاستمرارية كالآتي :

$V_1 = Q / A = 1.667 / 0.196 = 8.5$ m/s

$u = \pi DN / 60$

$u = \pi * 4 * 285 / 60 = 59.7$ m/s

$\lambda_o = u / v_1 = 59.7/8.5 = 7.022$

$\therefore \lambda_o > 5$

من الجدول رقم (2) يمكن استخدام عدد من الريش يترواح من 2 إلى 3 .

اقصى قدرة يتم الحصول عليها عندما :-

$V = 2/3\ V_1$

$V = 5.67\ m/s$

من معادلة قدرة المقطع الانسيابي:-

$P_{max} = 0.2\ d^2\ V^3$

فان اقصى قدرة دخل نظرية للتوربين هي :

$P_{max} = 9.11W$

يمكن حساب زاوية الميل I لكل قيمة R من العلاقة :

$\cot I = 3/2\ \lambda$

حيث : $\lambda = \lambda_o . r/R$

R = اقصى نصف قطر للدوار .

r = نصف القطر المراد حساب القيمة I عنده .

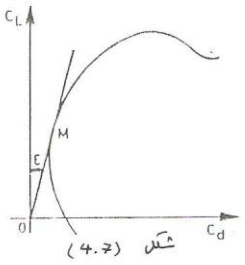
وبمعرفة I يمكن حساب زاوية الضبط α بالعلاقة :

$i = I - \alpha$

4.1.2 حساب الدفع المحوري والعزم:-

بتطبيق المعادلات الايروديناميكية علي جسيم في المدي من r+dr ، وبعد عدد من المعادلات المستنتجة فان :

$\varepsilon = C_d/C_L$



شكل رقم(4.7)

فان :

$ClbI = 4\ \pi\ r(h-I)\sin 2I \cos\varepsilon/(h+I)\sin(I-\varepsilon)$

حيث :

b= نطاق الريشة .

وبعد عدد من التعويضات نتحصل على القيم الاتية :

$G=(1-K)/(i+K)=ClbI\cos(I-\varepsilon)/8\ \pi\ r\cos\varepsilon \sin^2 I$

$E=(h-I)/(h+I)= ClbI \sin(I-\varepsilon)/4\ \pi\ r \sin^2 I \cos\varepsilon$

وبقسمة المعادلتين G و E على بعضهما البعض نتحصل على :-

$G/E=(1-K)\ (h+I)/(h-I)(I+K)$

4.1.3 معامل القدرة الموضعى :

لحساب معامل القدرة الموضعى لدوار رياح حقيقى ، افترض ان دوار طاحونة رياح مثالى يمتلك عدد لانهائى من الريش بدون قوة سحب اذا كان :$C_d=0$ لكل مقطع فان $\tan \varepsilon=C_d/C_L=0$ تحت هذه الظروف ، فان المعادلة التى تعطى G/Eيمكن اعطاؤها كالاتى :-

$$G/E=\cot^2 I = \lambda^2 (1+h)/(1+K)^2$$

وبعد التبسيط تصبح المعادلة

$$\lambda^2 =(1-K^2)/(h^2-1)$$

ومنها يمكن ايجاد ان :

$$h=(1+(1- K^2) / \lambda^2)^{0.5}$$

وبوضع قيم h فى معادلة معامل القدرة الموضعى CP نجد ان :-

$$Cp= \lambda^2 (1+K) ((1+(1- K^2)/ \lambda^2) -1)^{0.5}$$

وبعد عدد من التعويضات نجد ان :-

$$\theta =1/3\cos -1 (1/(\lambda^2 +1)^{0.5} + \pi/3$$
$$=\tan -1 \lambda+ \pi/3$$

وعليه فان لاى قيمة من قيم λيمكن ان نحسب K، θ وبالتالى قيمة CP القصوى .

4.1.4 القيم المثلى لزاوية الميلان والكمية $C_L bI$:

تم الحصول على المعادلات الاتية لزاوية الميلان I وللكمية $C_L bI$.

$$\cot I = \lambda e = \lambda (1+h)/(1+K)$$
$$ClbI=8 \pi r(1-K) \cos \varepsilon \sin^2 I /(1+K)\cos(1-\varepsilon)$$

وبناءا على النتائج للمعادلات السابقة فان معرفة الزاوية θ يقود الى تحديد قيم h،K وبالتالى قيم λ_e و I .

ولحساب المقدار $C_L PI$ يجب ايضا اعتبار طاحونة رياح مثالية بدون قوة سحب للريش ($\varepsilon=0$) وتحت هذه الظروف ، فان التعبير $C_L PI/r$ يمكن كتابته كما يلى :-

$$ClbI/r=8 \pi(1-K)/(1+k)*(1/((\lambda e(\lambda e^2+1)^{0.5})$$

تم بواسطة برنامج OPTI على الحاسوب ايجاد قيم λ_e ، K ، h، Cp، C_LPI و القيم المختلفة λ فيما بين 0.1 و 10 يتم توضيح القيم المتحصل عليها فى جدول رقم (3) بالملاحق .

حيث : $\lambda=\lambda_0 r/R$

$=7*0.6=4.2$

ومنها ايجاد القيمة التالية

$Cp=0.585$

$C_LPI/r=0.305$

$I=8.928$

$K=0.336$

$h=1.025$

$\lambda_e=6.365$

وهكذا من الجدول تم التحصل على قيم المجاهيل ومن ثم تم تعويضها فى المعادلات السابقة للحصول على قيم E، G .ثم حساب قيمة عرض الريشة فى كل حالة وحساب C_L عند كل قيمه من قيم r .

$L=236.9mm$

$b=51mm$ عند الصرة

$b=20mm$ عند الطرف

مع ملاحظة ان عرض الريشة يقل كلما اتجهنا الى طرف الريشة

$(t/c)=15$

$(x/c)=44$

4.1.5 تصميم الريش مستطيلة المقطع :-

تم حساب وزن ريشة ذات مقطع انسيابى وبناء عليه تم تصميم الريش ذات المقطع المستطيل حيث تم اخذ نفس طول الريشة ذات المقطع !الانسيابى .

$L=236.9mm$

مع اختلاف العرض ، ومن معادلة دوار الرياح بطئ التشغيل :-

$P_{max}=0.15\ D^2V^3$

وتم حساب اقصى قدرة متولدة حيث وجدت :-

$P_{max}=6.8W$

4.1.6 تصنيع الريش :-

بعد عدة محاولات لاختيار مادة مناسبة لتصنيع الريش تم اختيار سبيكة الالمونيوم المستخدمة فى طباعة الصحف وذلك لسهولة تشكيلها للحصول على شكل الجسيم الانسيابى المعقد . هذا الاختيار تم بعد المفاضلة بين سبيكة الالمونيوم ، خشب القفل والالياف الزجاجية . حيث نجد ان الالياف الزجاجية سهلة التشكيل ولكنها مكلفة وذات وزن كبير مقارنة بخشب القفل ، فى حين ان خشب القفل خفيف الوزن ولكنه صعب التشكيل لذلك تم اختيار الالمونيوم . نماذج الريش المصنعه موضحه فى ملحقات الصور الفوتغرافية رقم (1) ، (2) .

4.2.1 وصف جهاز الاختبار :-

يتكون جهاز الاختبار من مروحة سحب هواء مثبته عند احد طرفى هيكل الجهاز بالمواصفات الاتية قطرها 500mm وقدرتها 380w ومعدل انسيابها الحجمى $100m^3/min$. كما ان هنالك مقطع للاختبار عبارة عن محمل من الفولاذ الطرى يحمل عمودا من الفولاذ الطرى بقطر 10mm وبطول 100mm يحمل عددا من ريش الاختبار (ثلاثة او سته ريش) مثبتة عليه بواسطة مسمار وصامولة للاحكام .

يتم تصنيع هيكل الجهاز من الزوى مقاس $1\frac{1}{4}$ بواسطة تقنية اللحام بالابعاد التالية .

يتم تغطية مروحة السحب ومقطع الاختبار باسطوانه من سبيكة التوتيا الرقيقة وذلك لضمان استقرار سرعة الهواء التى يتم ضخها بواسطة المروحة .

4.2.2 عمل الجهاز .

يعمل الجهاز على سحب الهواء من الخارج وضخه فى اتجاه الاسطوانة التى تعمل على حصر الهواء فى اتجاه الريش ، وبذلك نضمن عدم وجود اى تاثير للهواء خارج الجهاز وبالتالى المحافظة على سرعة الرياح الناتجة من المصدر .

شكل جهاز الاختبار موضح فى ملحق الصور الفوتغرافية رقم (3) .

4.2.3 تغيير زوايا الريش :-

يتم التحكم فى زوايا ريش الاختبار بواسطة مناقل صغيرة مثبتة اسفل كل ريشة مقسمه الى 9 تقسيمات فى المدى من صفر وحتى 90 درجه ويتم احكام المناقل بواسطة صامولة.

4.2.4 قياس القدرة :-

وجد ان انسب طريقة لقياس القدرة الناتجة مع اقل قدر من الفواقد الميكانيكية عن طريق مولد كهربائى صغير موصل مع الصره عن طريق عمود بقطر 10mm وموضوع على محمل واحد فقط بغرض تقليل فاقد الاحتكاك . يتم قطع قلووظ داخلى بقطر اكبر مقداره 5mm للعمود وذلك لربط المولد عليه . يتم توضيح المولد والعمود والريش على جهاز الاختبار فى ملحق الصور الفتوغرافية رقم (4) .

4.3 اجراءات الاختبار (Testing Procedures) :-

يمكن تلخيص اجراءات الاختبار التى يجب اتباعها فى النقاط التالية :-

1- اضبط زاوية السقوط لنمازج الريش المراد اختبارها واحكم ربطها .

2- استخدم تاكوميتر (Tachometer) لقياس سرعة دوران عمود الريش ، وجهاز فولتميتر (Voltmeter) لقياس الجهد المتولد بواسطة المولد الصغير .

3- يتم اخذ قراءة سرعة الدوران والجهد ثلاثة مرات خلال كل ضبط جديد لزاوية السقوط ، وبعد ذلك يتم تسجيل القيمة المتوسطة .

4- كرر الاجراءات اعلاه لكل ضبط جديد لزاوية السقوط لجميع الريش بنوعيها فى المدى من 0درجة وحتى 90 درجة .

الفصـــل الخامس

القراءات و النتائج

5-1 القراءات :-

الجداول (5-1-1) ، (5-1-2) ، (5-1-3) و (5-1-4) توضح القراءات التي تم الحصول عليها للمقطعين الانسيابي و المستطيل .

الجداول (5-1-1) و (5-1-2) توضح قراءات المقطع الانسيابي لعدد 3 و 6 ريش علي التوالي .

الجداول (5-1-3) و (5-1-4) توضح قراءات المقطع المستطيل لعـــدد 6 و 3 ريش علي التوالي .

زاوية السقوط (DEG)	عدد اللفات في الدقيقة (rpm)	الجهد (volt)
0	1065	1.08
10	1142	1.68
20	932	0.942
30	778	0.837
40	623	0.684
50	554	0.562
60	445	0.410
70	307	0.32
80	174	0.18
90	119	0.15

جدول رقم (5.1.1)

زاوية السقوط (DEG)	عدد اللفات في الدقيقة (rpm)	الجهد (volt)
0	480	0.544
10	690	0.818
20	515	0.724
30	445	0.585
40	360	0.476
50	310	0.384
60	287	0.310
70	221	0.262
80	175	0.175
90	105	0.098

جدول رقم (5-1-2)

زاوية السقوط (DEG)	عدد اللفات في الدقيقة (rpm)	الجهد (volt)
0	860	0.91
10	1280	2.42
20	1020	1.68
30	886	1.01
40	563	0.82
50	436	0.692
60	357	0.508
70	236	0.372
80	168	0.192
90	118	0.084

جدول رقم (5-1-3)

زاوية السقوط (DEG)	عدد اللفات في الدقيقة (rpm)	الجهد (volt)
0	300	0.402
10	700	0.871
20	540	0.81
30	430	0.713
40	405	0.693
50	335	0.527
60	268	0.413
70	237	0.302
80	170	0.241
90	55	0.001

جدول رقم (5-1-4)

5.2 عينة من كيفية اجراء الحسابات :-

باخذا القراءات فى الجدول رقم(5.1.4)

i=10
N=233rpm
v= 0.871volt

فان الكميات التالية يمكن حسابها

w=2*3.14*233/60=24.4rad/s
$P=V^2/R$
R=1.5 OHM

حيث R مقاومة ثابتة .

P=T*w
$P=0.871^2/1.5$
=0.51watt
T=P/w
=0.51/24.4=0.021N.m
$F_L=T/R=0.021/0.125=0.71N$

حيث:

F_L قوة الرفع

R نصف القطر المتوسط لدائرة الريشة .

$F_L=T/bR$
= 0.17/0.237=0.72N/m

حيث :

F_L قوة الرفع لكل وحدة نطاق .

Fmax/unit span = $4/9\rho V2*L$
$= 4/9*1.25*8.5^2*0.02$
= 0.8N
$C_L = F_L/Fmax$
= 0.72/0.8
= 0.9
$Pi=0.2D^2V^3$

حيث : Pi= قدرة الدخل

D= قطر الدوار

V = سرعة الهواء خلال الدوار

$V=2/3V_1=2/3*8.5=5.67m/s$
$Pi=0.2*0.5^2*5.67^3=9.1watt$
$\zeta=0.51/9.1*100\%=5.6\%$

حيث : ζ=الكفاءة .

5.3 النتائج Results:-

الجداول (5.3.1) و(5.3.2) فى الملاحق توضح النتائج المحسوبة من القراءات لمقطع انسيابى ومقطع مستطيل يتكون من عدد 3 ريش على الترتيب .

5.4 التعليق على المخططات وتحليل النتائج :-

5.4.1 الريش الانسيابية المقطع :-

5.4.1.1 مخطط زاوية السقوط ضد الكفاءة :-

ملحق الشكل رقم (5.4.1) . يوضح الخطط ان الكفاءة تزيد زيادة حادة بزيـــادة زاويـة السقوط حتى تصل الى أقصى قيمة عند 10° بعد ذلك تنخفض تدريجيا على ثلاثة مراحـل فى مدى واسع لزاوية السقوط من 10° الى 90° .

5.4.1.2 مخطط زاوية السقوط ضد معامل الرفع :-

ملحق مخطط شكل رقم (5.4.2) يوضح المخطط ان معامل الرفع يزيد بزيـــادة زاويـة السقوط بمدى صغير حتى 1.13 عند زاوية سقوط مقدارها 10° ثم يبدأ فـــى الانخفـاض تدريجيا في مدى واسع حتى 70° ثم يبدأ مرة أخرى في الارتفاع تدريجيا .

5.4.2 الريش مستطيلة المقطع :-

5.4.2.1 مخطط زاوية السقوط ضد الكفاءة (ملحق شكل رقم (5.4.3)) :-

يوضح هذا المخطط ان الكفاءة الايروديناميكية تزيد زيادة حاده بزيادة زاوية السقوط وذلك في مدى صغير حتى تصل في أقصى قيمة لها عند زاوية سقوط مقدارها 10° ثم تبدأ فـــى الانخفاض بحده حتى زاوية سقوط مقدارها 20° وتبدا فى الارتفاع قليلا فى مدى صغـــير للكفاءة حتى 30° ثم تنخفض تدريجيا حتى زاوية مقدارها 90° .

5.4.2.2 مخطط زاوية السقوط ضد معامل الرفع :-(ملحق شكل رقم(5.4.4))

يزيد معامل الرفع بحده في مدى صغير لزاوية السقوط حتى يصل إلى أقصى قيمـــه لـــه وهى 0.95 عند زاوية سقوط مقدارها 10° ثم يبدأ في الانخفاض الحاد حتى زاوية سـقوط مقدارها 20° ثم يرتفع قليلا في مدى صغير حتى 30° ثم يبدأ في الانخفاض تدريجيا حتـــى أدنى قيمه له وهى 0.072 عند 90° .

الفصل السادس

6.0 الخاتمة والتوصيات

6.1 الخاتمة :-

العامل المشترك فى جميع الماكينات الديناميكية الدوارة هو انه يتم تغذية المائع الى العجلة او العنصر الدوار باستمرار بحث يكون لها مكونة سرعة مماسية (سرعة تدويم) حول محور العمود عند دخولها الى العجلة وخروجها نصف قطريا او محوريا فاقدة كمية حركتها ومسببه عزم على الدوار فى هذا الاجراء .

فى هذه التجربة فان الطاقة الايروديناميكية للمائع التى يتم امددها الى الدوار يتم تحويلها بواسطة ثلاثة ريش انسيابية او مستطيلة المقطع الى طاقة حركة ، وهذا يحدث نتيجة لفرق الضغط العالى الناشئ نتيجة لشكل الريشة وضبط زاوية السقوط ، هذا الفعل ينتج قوة على العمود وعزم على الريشة .

من القراءات الماخوذة والمخططات المقابله لها الموضحه فى الفصل الخامس ان الريش ذات المقطع المستطيل تعطى اقصى قدرة مقارنة بالريش ذات المقطع الانسيابى هذا يحدث نتيجة لتحرك نقطة الانفصال كثيرا الى الامام مما يساعد على توليد ضغط معاكس .

6.2 التوصيات :-

نوصى بالعمل على تصميم وتصنيع جهاز نفق هوائى (Wind Tunnel) بالمواصفات القياسية المتعارف عليها وذلك لتلافى عيوب جهاز الاختبار ، حيث انه وفى محاولتنا لتقليل فواقد الاحتكاك قمنا باسناد العمود على محمل واحد فقط مما ادى هذا لحدوث تحميل على جلبة المولد وبالتالى نشوء فواقد احتكاك .

نوصى ايضا بالعمل على توفير اجهزة قياس دقيقة مثل اجهزة قياس قوة الرفع والسحب وقياس سرعة الرياح .

نوصى ايضا باستخدام الالياف الزجاجية فى تصنيع الريش لتفادى تشوهات شكل الريشة التى ظهرت لنا جليا خلال اجراء الاختبار .

واخيرا نوصى باستمرار البحث فى هذا المجال الثر والمفيد وذلك حتى نتمكن فعليا من الاستفادة القصوى من طاقة الرياح المتوفرة فى السودان .

المراجع

1/ L.L FRERIS, 1990, WIND ENERGY CONVERSION, Third Edition, PRENTICE HALL.

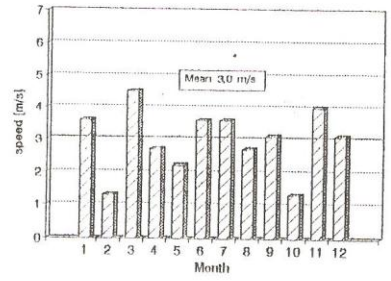
2/ J.F. DOUGLAS, 1987, SOLVING PROBLEMS IN FLUID MECHANICS, Second Edition, LONGMAN SINGAPORE PUBLISHERS (PTE) Ltd.

3/ D.J. Tritton, 1986, Physical Fluid Dynamics. Second Edition, Van Norstand Reinhold (UK) Ltd.

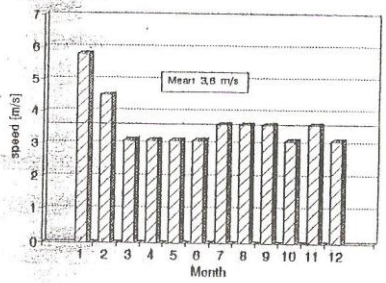
الملاحـــــــــق

WINDSPEED - STATION KHARTOUM (base of Sudan Meteorological Department)

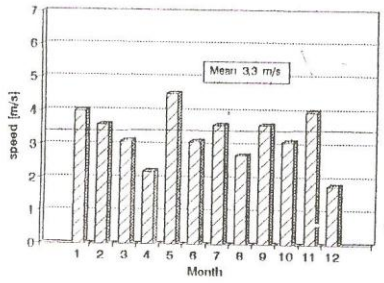
year 1988



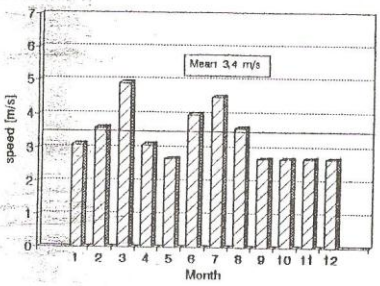
year 1989



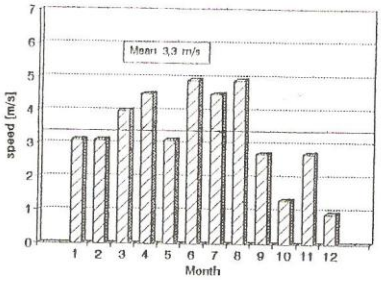
year 1990



year 1991

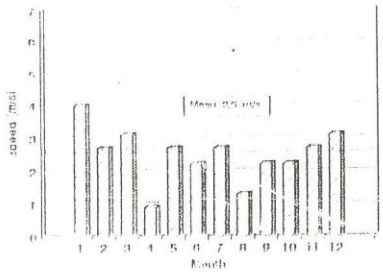


year 1992

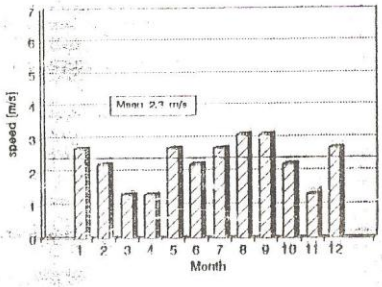


WINDSPEED STATION ATBARA (base of Sudan Meteorological Department)

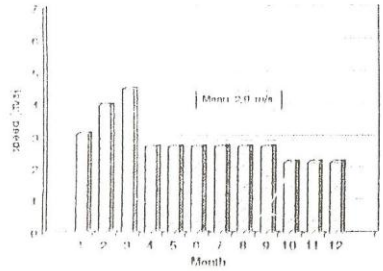
year 1988



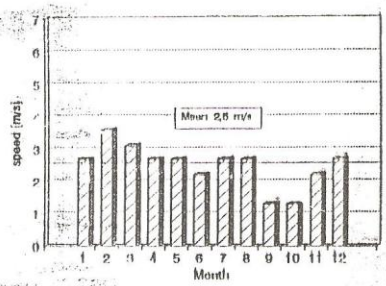
year 1989



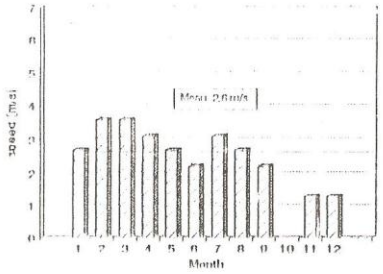
year 1990



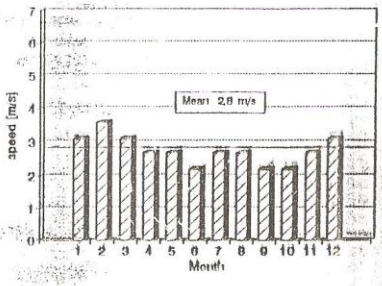
year 1991



year 1992

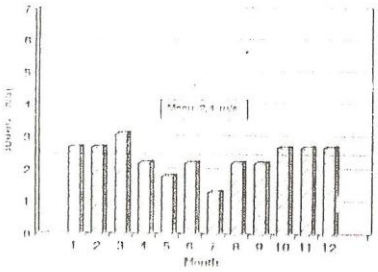


years 1961 - 1990

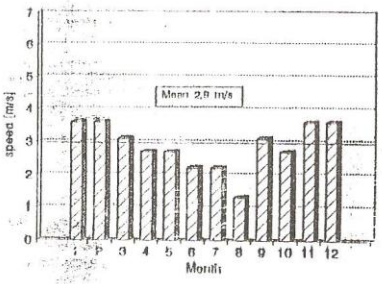


WINDSPEED STATION NYALA (base of Sudan Meteorological Department)

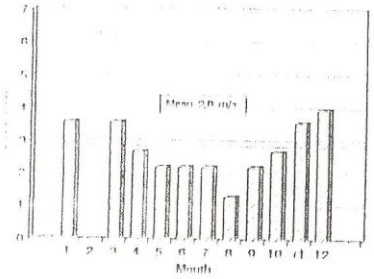
year 1988



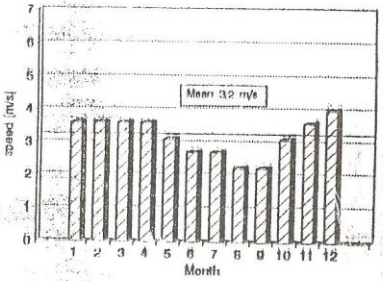
year 1989



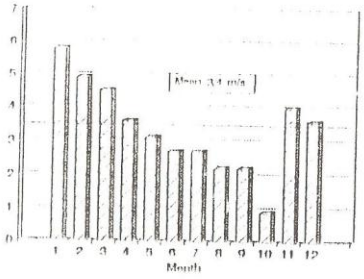
year 1990



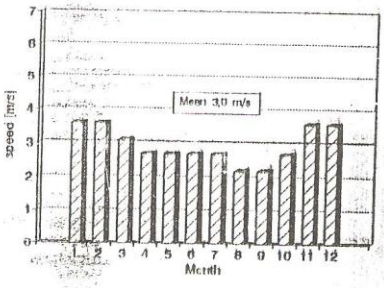
year 1991



year 1992

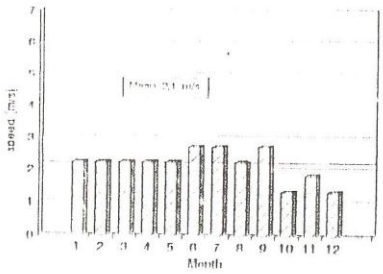


years 1961 - 1990

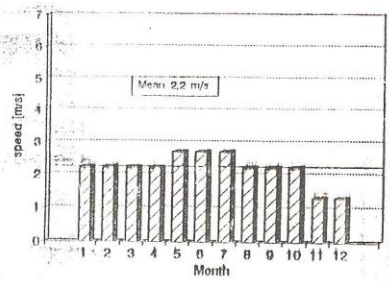


WINDSPEED - STATION EL FASHER (base of Sudan Meteorological Department)

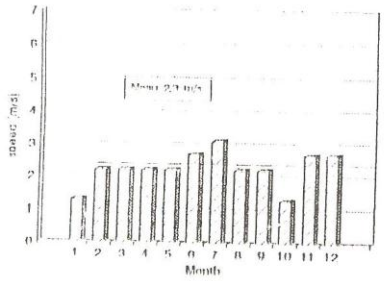
year 1988



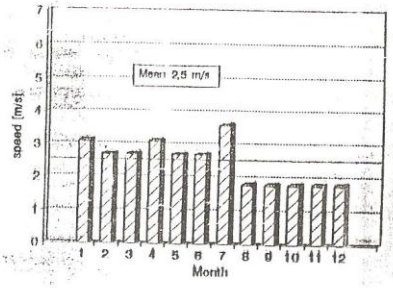
year 1989



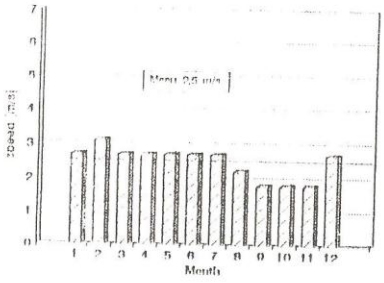
year 1990



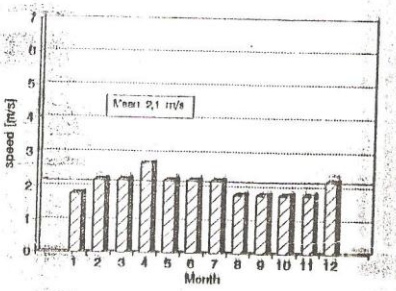
year 1991



year 1992

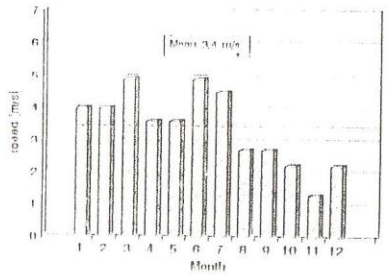


years 1961 - 1990

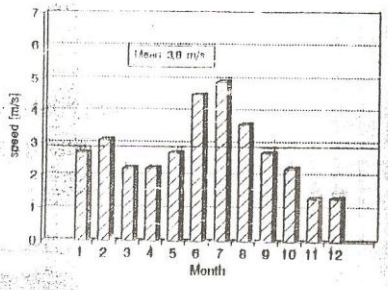


WIND SPEED STATION WAD MEDANI (base of Sudan Meteorological Department)

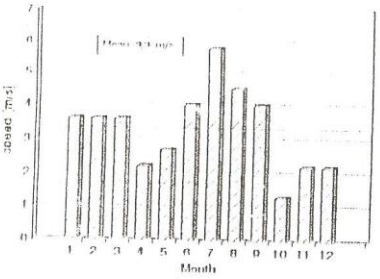
year 1988



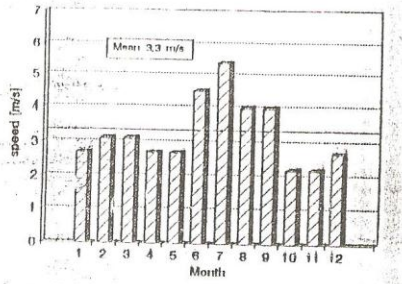
year 1989



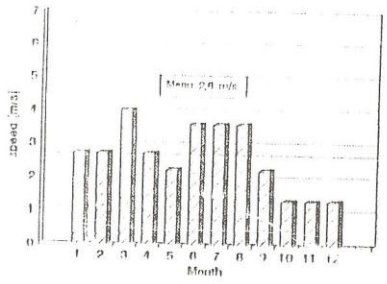
year 1990



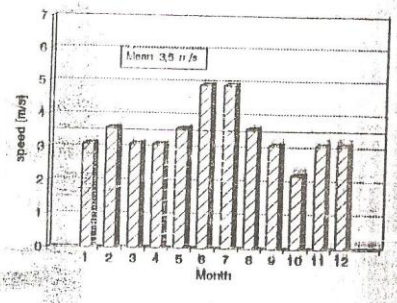
year 1991



year 1992

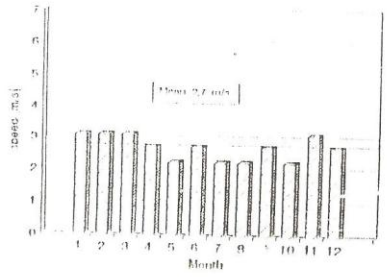


years 1961 - 1990

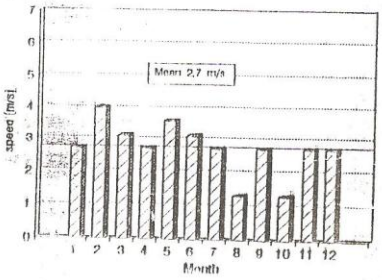


WIND SPEED STATION GEDARIEF (base of Sudan Meteorological Department)

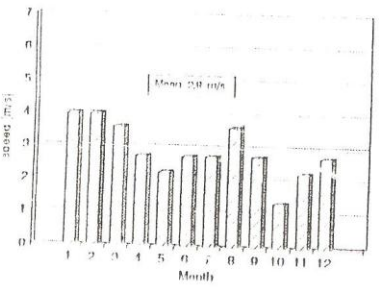
year 1988



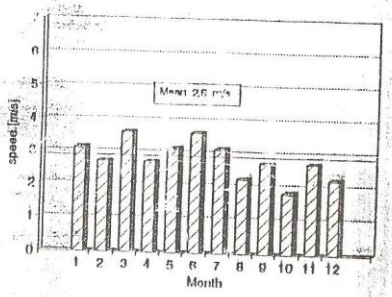
year 1989



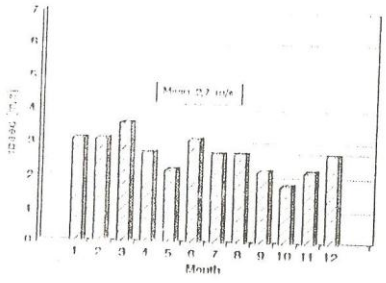
year 1990



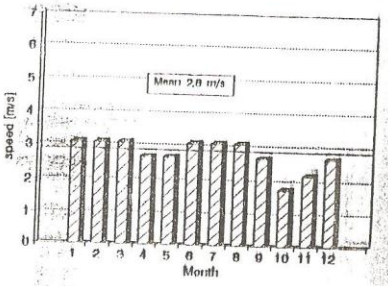
year 1991



year 1992

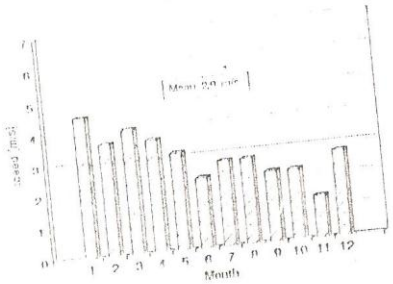


years 1981 - 1990

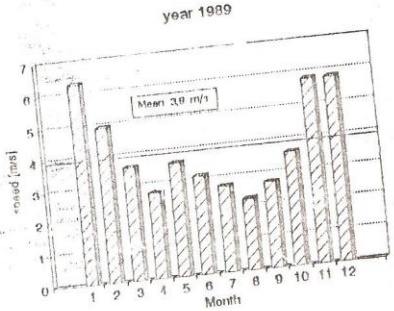


WINDSPEED STATION PORT SUDAN (base of Sudan Meteorological Department)

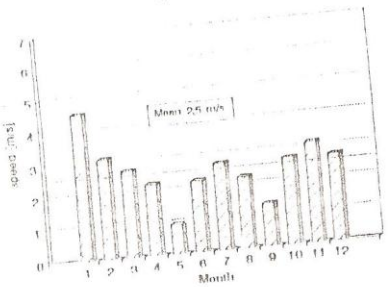
year 1988



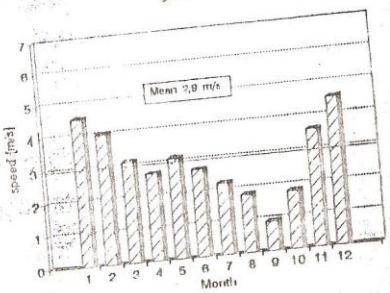
year 1989



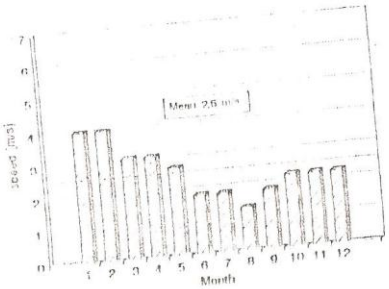
year 1990



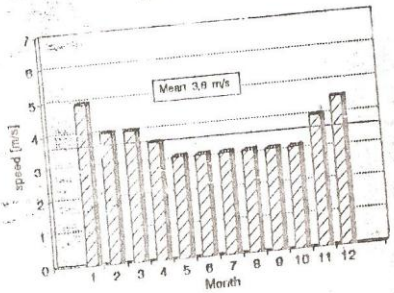
year 1991



year 1992



years 1961 - 1990



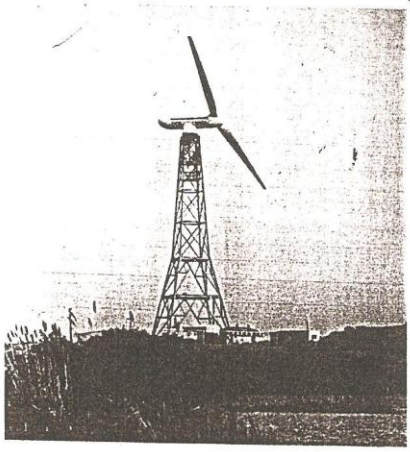


Figure 1.1 Mod 0A

Figure 1.2 Boeing Mod 2

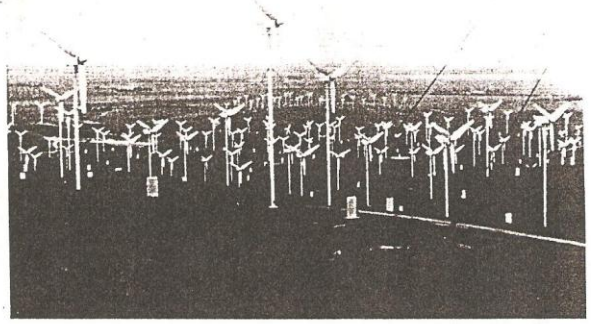


Figure 1.4 Wind farm, Altamont Pass, California, USA

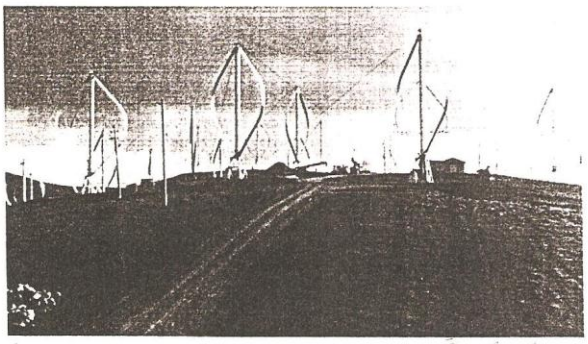


Figure 1.5 Wind farm, Altamont Pass, California, USA

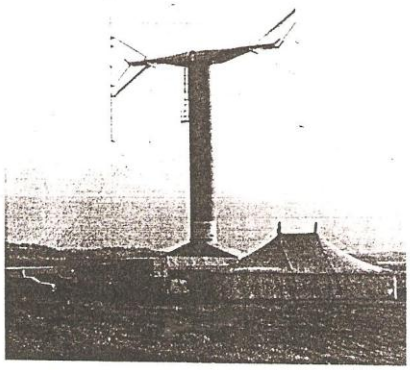


Figure 1.6 McAlpine, variable geometry turbine

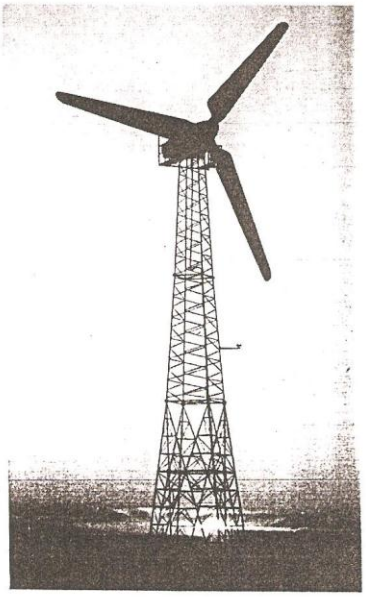


Figure 1.3 Vestas 15 m

TABLE (1)

Diameter in m	*Rotational speed in r.p.m*		*Max. Power in kW*	
	V = 7 m/s	V = 10 m/s	V = 7 m/s	V = 10 m/s
1	935	1 340	0.07	0.2
2	470	670	0.27	0.8
3	310	450	0.60	1.8
4	235	335	1.07	3.2
5	190	270	1.7	5
6	155	220	2.4	7.2
8	120	168	4.4	12.8
10	95	134	6.7	20
15	62	90	15	45
20	47	67	26.8	80
30	31	45	60	180
40	23	33	107	320
50	19	27	168	500

جدول (3.2)

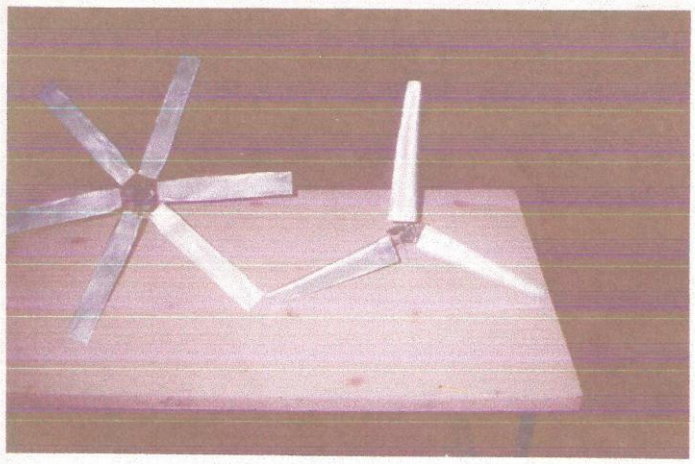
يوضح العلاقة بين نسبة السرعة الطرفية وعدد الريش

TIP SPEED RATIO (λ_o)	NUMBER OF BLADES
1	8 to 24
2	6 to 12
3	3 to 6
4	2 to 4
> 5	2 to 3

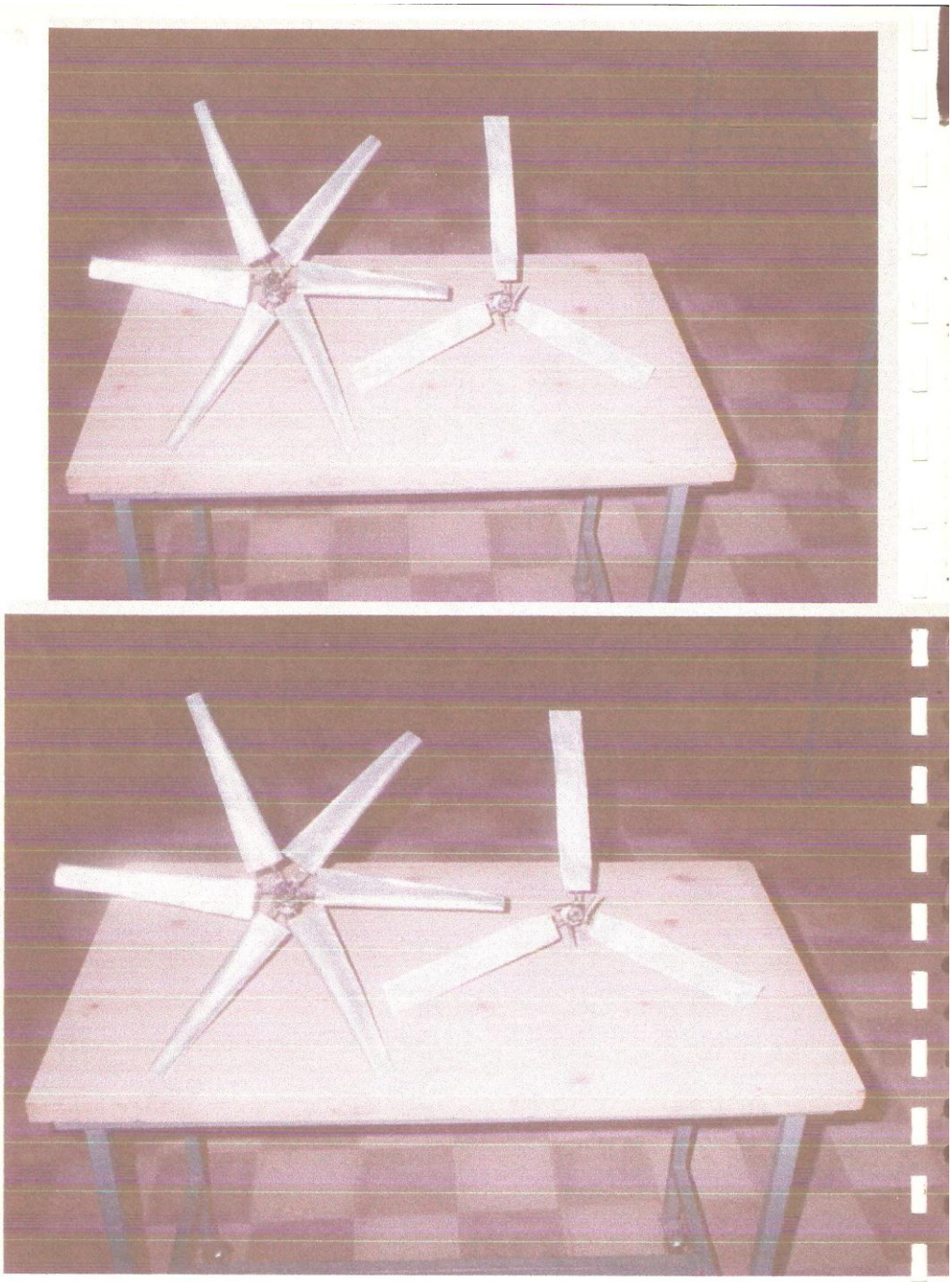
TABLE (2)

Optimum values of the running parameters as a function of λ

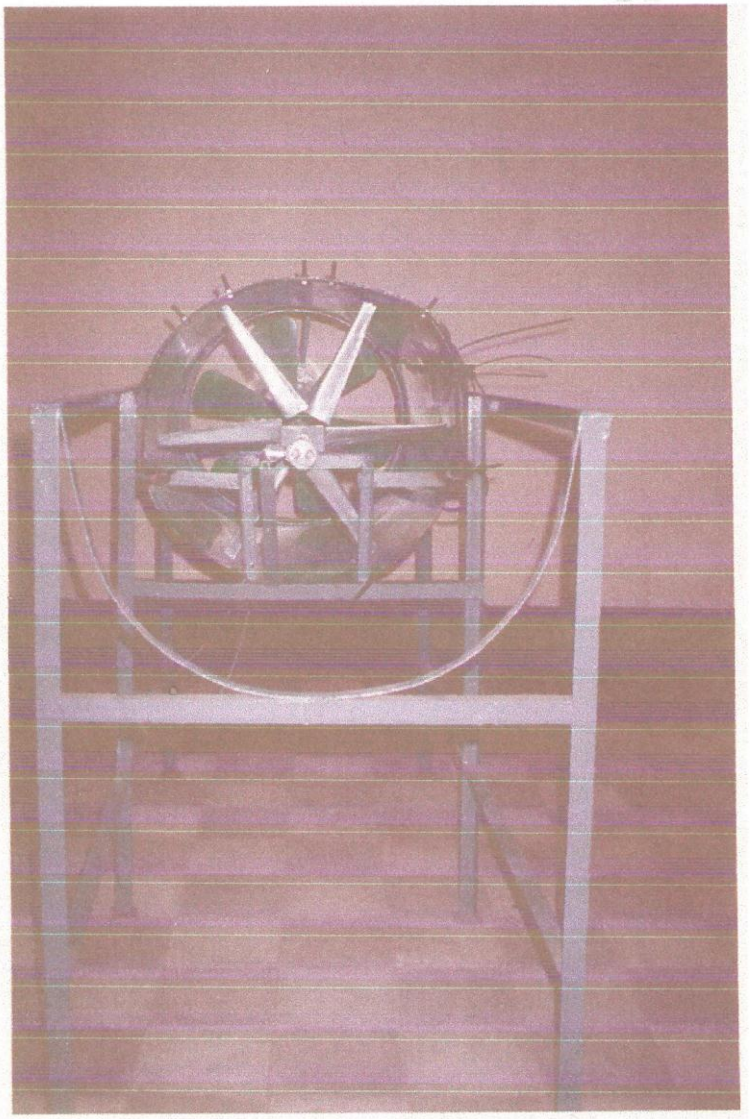
λ	λe	k	h	C_p	$C_l bl/r$	l	λ	λe	k	h	C_p	$C_l bl/r$	l
0.100	0.670	0.473	8.866	0.116	11.149	56.193	5.000	7.555	0.335	1.018	0.587	0.217	7.540
0.200	0.768	0.451	4.574	0.207	9.819	52.460	5.100	7.704	0.335	1.017	0.588	0.029	7.396
0.300	0.873	0.432	3.168	0.279	8.600	48.867	5.200	7.853	0.335	1.016	0.588	0.201	7.257
0.400	0.984	0.416	2.483	0.336	7.506	45.466	5.300	8.002	0.335	1.016	0.588	0.194	7.123
0.500	1.099	0.403	2.086	0.381	6.541	42.290	5.400	8.151	0.335	1.015	0.588	0.187	6.994
0.600	1.219	0.393	1.830	0.416	5.700	39.358	5.500	8.300	0.335	1.015	0.588	0.180	6.870
0.700	1.343	0.384	1.655	0.444	4.975	36.672	5.600	8.449	0.335	1.014	0.588	0.174	6.750
0.800	1.470	0.377	1.530	0.467	4.353	34.227	5.700	8.598	0.335	1.014	0.589	0.168	6.634
0.900	1.600	0.371	1.437	0.485	3.821	32.009	5.800	8.747	0.335	1.013	0.589	0.163	6.522
1.000	1.732	0.366	1.366	0.500	3.367	30.000	5.900	8.897	0.335	1.013	0.589	0.157	6.413
1.100	1.866	0.362	1.311	0.512	2.980	28.183	6.000	9.046	0.335	1.012	0.589	0.152	6.308
1.200	2.002	0.359	1.267	0.522	2.648	26.537	6.100	9.195	0.335	1.012	0.589	0.147	6.207
1.300	2.140	0.356	1.232	0.531	2.363	25.046	6.200	9.344	0.335	1.011	0.589	0.143	6.108
1.400	2.279	0.353	1.203	0.538	2.118	23.692	6.300	9.494	0.335	1.011	0.589	0.138	6.013
1.500	2.419	0.351	1.179	0.544	1.906	22.460	6.400	9.643	0.355	1.011	0.589	0.134	5.920
1.600	2.560	0.349	1.159	0.549	1.723	21.337	6.500	9.792	0.334	1.010	0.589	0.130	5.831
1.700	2.702	0.348	1.142	0.553	1.563	20.310	6.600	9.942	0.334	1.010	0.590	0.126	5.744
1.800	2.844	0.346	1.128	0.557	1.423	19.370	6.700	10.091	0.334	1.010	0.590	0.122	5.659
1.900	2.988	0.345	1.115	0.560	1.300	18.506	6.800	10.241	0.334	1.010	0.590	0.119	5.577
2.000	3.132	0.344	1.105	0.563	1.191	17.710	6.900	10.390	0.334	1.009	0.590	0.116	5.498
2.100	3.276	0.343	1.095	0.565	1.095	16.976	7.000	10.539	0.334	1.009	0.590	0.112	5.420
2.200	3.421	0.343	1.087	0.568	1.010	16.296	7.100	10.689	0.334	1.009	0.590	0.109	5.345
2.300	3.566	0.342	1.080	0.570	0.934	15.666	7.200	10.838	0.334	1.009	0.590	0.106	5.271
2.400	3.711	0.341	1.704	0.571	0.865	15.080	7.300	10.988	0.334	1.008	0.590	0.103	5.200
2.500	3.857	0.341	1.068	0.573	0.804	14.534	7.400	11.137	0.334	1.008	0.590	0.101	5.131
2.600	4.003	0.340	1.063	0.574	0.749	14.025	7.500	11.287	0.334	1.008	0.590	0.098	5.063
2.700	4.150	0.340	1.059	0.576	0.699	13.549	7.600	11.436	0.334	1.008	0.590	0.096	4.997
2.800	4.296	0.339	1.055	0.577	0.654	13.103	7.700	11.586	0.334	1.007	0.590	0.093	4.933
2.900	4.443	0.339	1.051	0.578	0.613	12.684	7.800	11.735	0.334	1.007	0.590	0.091	4.871
3.000	4.590	0.339	1.048	0.579	0.586	12.290	7.900	11.885	0.334	1.007	0.590	0.088	4.810
3.100	4.737	0.338	1.045	0.580	0.542	11.919	8.000	12.034	0.334	1.007	0.591	0.086	4.750
3.200	4.884	0.338	1.042	0.580	0.511	11.569	8.100	12.184	0.334	1.007	0.591	0.084	4.692
3.300	5.032	0.338	1.040	0.581	0.482	11.239	8.200	12.334	0.334	1.007	0.591	0.082	4.635
3.400	5.180	0.337	1.038	0.582	0.456	10.926	8.300	12.483	0.334	1.006	0.591	0.080	4.580
3.500	5.328	0.337	1.036	0.582	0.431	10.630	8.400	12.633	0.334	1.006	0.591	0.078	4.526
3.600	5.476	0.337	1.034	0.583	0.409	10.349	8.500	12.782	0.334	1.006	0.591	0.077	4.473
3.700	5.624	0.337	1.032	0.583	0.388	10.083	8.600	12.932	0.334	1.006	0.591	0.075	4.422
3.800	5.772	0.337	1.030	0.584	0.369	9.829	8.700	13.082	0.334	1.006	0.591	0.073	4.371
3.900	5.920	0.336	1.029	0.584	0.351	9.588	8.800	13.231	0.334	1.006	0.591	0.071	4.322
4.000	6.068	0.336	1.027	0.585	0.334	9.358	8.900	13.381	0.334	1.006	0.591	0.070	4.274
4.100	6.217	0.336	1.026	0.585	0.319	9.138	9.000	13.531	0.334	1.005	0.591	0.068	4.227
4.200	6.365	0.336	1.025	0.585	0.305	8.928	9.100	13.680	0.334	1.005	0.591	0.067	4.181
4.300	6.514	0.336	1.024	0.586	0.291	8.728	9.200	13.830	0.334	1.005	0.591	0.065	4.136
4.400	6.662	0.336	1.023	0.586	0.278	8.536	9.300	13.980	0.334	1.005	0.591	0.064	4.092
4.500	6.811	0.336	1.022	0.586	0.267	8.353	9.400	14.129	0.334	1.005	0.591	0.063	4.048
4.600	6.960	0.336	1.021	0.586	0.255	8.177	9.500	14.279	0.334	1.005	0.591	0.061	4.006
4.700	7.108	0.336	1.020	0.587	0.245	8.008	9.600	14.429	0.334	1.005	0.591	0.060	3.965
4.800	7.257	0.335	1.019	0.587	0.235	6.846	9.700	14.578	0.334	1.005	0.591	0.059	3.924
4.900	7.406	0.335	1.018	0.587	0.226	7.690	9.800	14.728	0.334	1.005	0.591	0.058	3.884
							9.900	14.878	0.334	1.005	0.591	0.057	3.845
							10.000	15.028	0.334	1.004	0.591	0.055	3.807



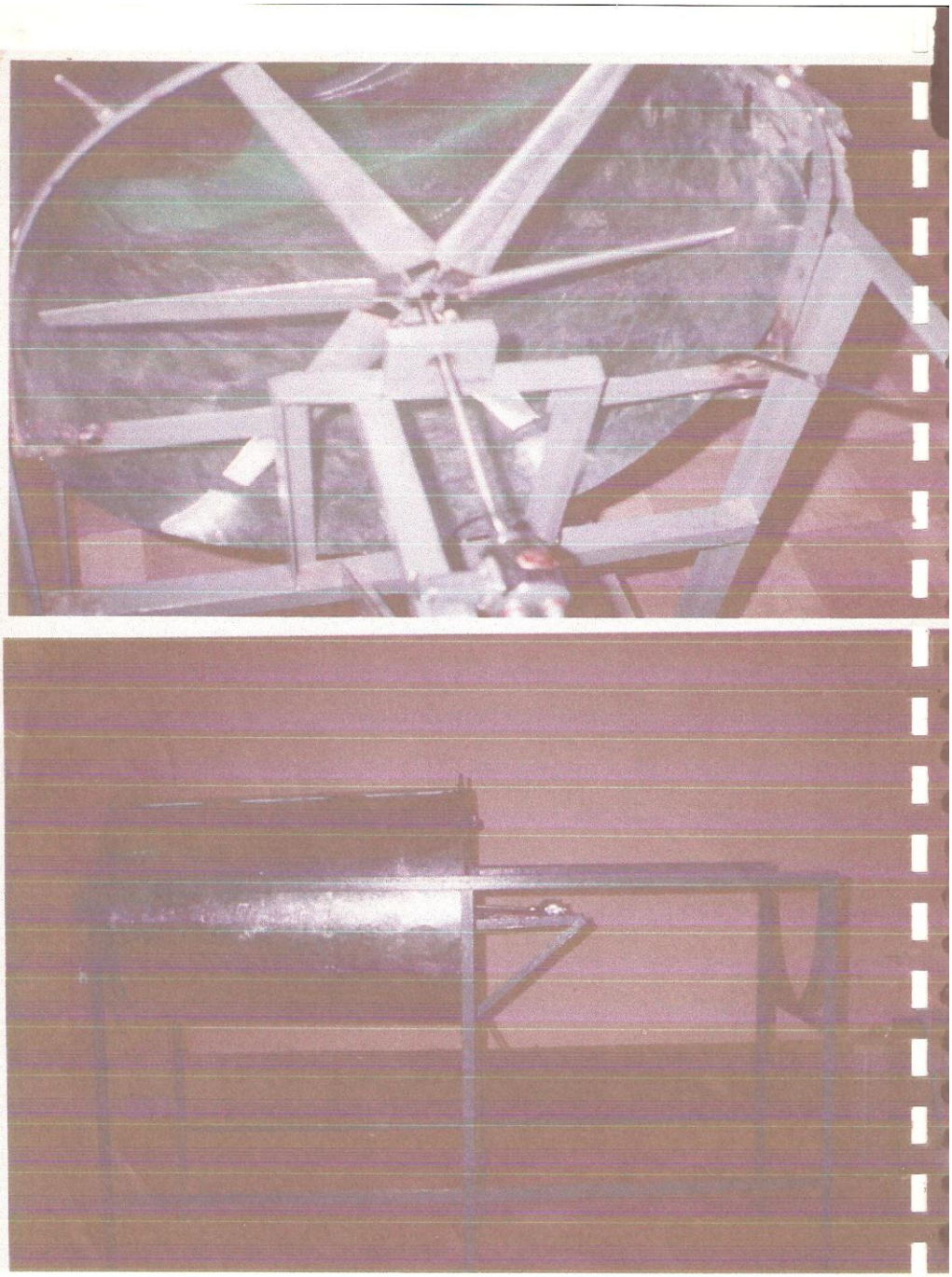
صورة (١)



صوره (2)



صوره (3)



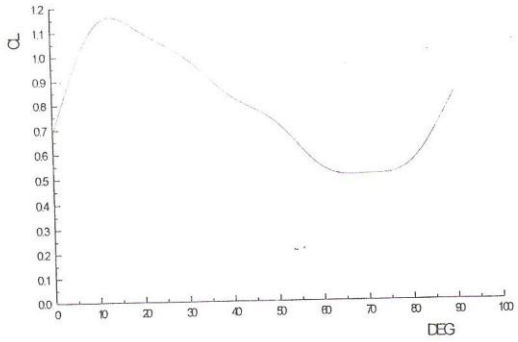
صوره (۴)

جدول ( ) يوضح نتائج قراءات 3 ريش انسيابية المقطع.

DEG (i)	rpm	POWER (W)	EFFICIENCY%	C_L
0	101	0.17	1.9	0.68
10	233	0.63	6.9	1.13
20	180	0.54	5.9	1.10
30	143	0.44	4.8	0.99
40	135	0.42	4.6	0.83
50	112	0.20	2.2	0.72
60	89	0.11	1.2	0.54
70	79	0.10	1.1	0.51
80	57	0.08	0.01	0.56
90	18	0.04	0.004	0.85

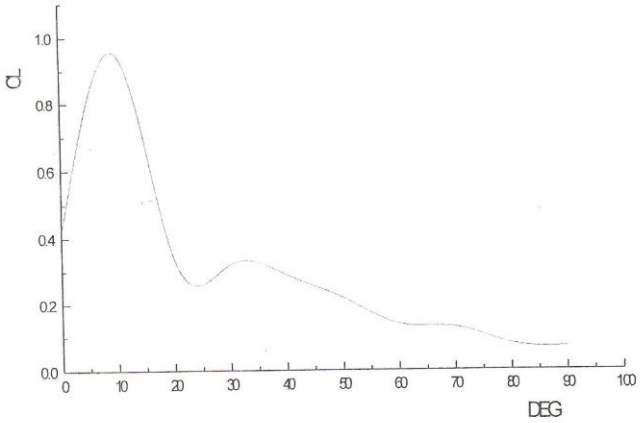
جدول ( ) يوضح نتائج قراءات 3 ريش مستطيلة المقطع.

DEG (i)	rpm	POWER (W)	EFFICIENCY%	C_L
0	355	0.77	11.3	0.42
10	381	1.9	27.9	0.95
20	362	0.6	8.8	0.34
30	259	0.46	6.7	0.32
40	208	0.31	4.6	0.29
50	185	0.21	3.1	0.22
60	149	0.11	1.6	0.14
70	103	0.068	0.1	0.13
80	58	0.023	0.003	0.08
90	40	0.015	0.002	0.07



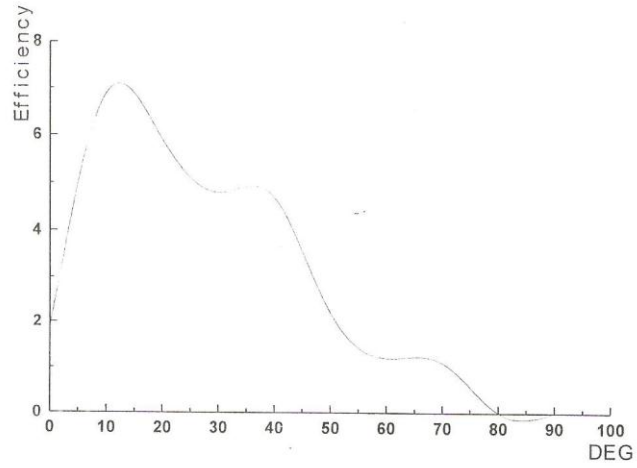
شكل رقم (5.4.2)

منحنى يوضح زاوية السقوط ضد معامل الرفع لعدد 3 ريش انسيابية المقطع



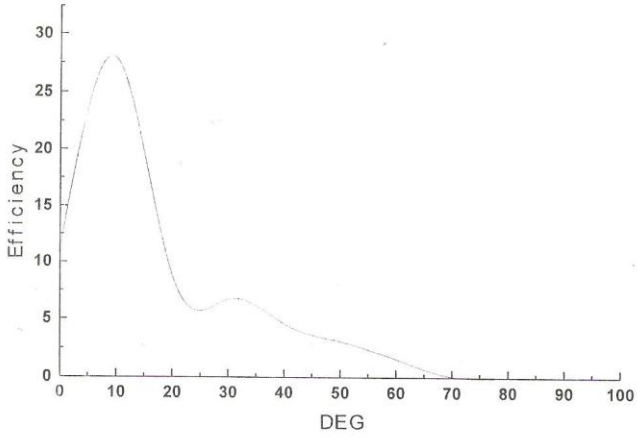
شكل رقم (5.4.4)

منحنى يوضح زاوية السقوط ضد معامل الرفع لعدد 3 ريش مستطيلة المقطع



شكل رقم (5.4.1)

منحنى يوضح زاوية السقوط ضد الكفاءة لعدد 3 ريش انسيابية المقطع



شكل رقم (5.4.3)

منحنى يوضح زاوية السقوط ضد الكفاءة لعدد 3 ريش مستطيلة المقطع