الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم الميكانيك العام– هندسة حرارية

تحديد النموذج الهجين(الريحي–الشمسي) المناسب لتوليد الطاقة الكهربائية على الطرقات العامة

Determining the Suitable Hybrid (Wind–Solar) Model for Generating Electric Power on Public Roads

دراسة

أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الميكانيكية

اعداد

المهندسة وعد هندي السمان

المشرف العلمي

الدكتور المهندس حسين علي تينة

أستاذ في قسم هندسة الميكانيك العام

العام الجامعي

2023–2024

قرار لجنة الحكم

دفعت هذه الرسالة، عنوان الرسالة

" تحديد النموذج الهجين(الريحي–الشمسي) المناسب لتوليد الطاقة الكهربائية على الطرقات العامة"

وأجيزت يوم الاثنين الواقع 16/12/2024 من قبل السادة أعضاء لجنة الحكم أسمائهم:

الاسم	المرتبة العلمية	الصفة عضواً أو مشرفاً	التوقيع
د. علي خلوف	الأستاذ في قسم هندسة الميكانيك العام الاختصاص: ميكانيك سوائل	عضواً	
د. حسين تينة	الأستاذ في قسم هندسة الميكانيك العام الاختصاص: ديناميك الغازات	عضواً مشرفاً	
د. عاصم قداح	الأستاذ المساعد في قسم هندسة الميكانيك العام الاختصاص: ديناميك الغازات والسوائل	عضواً	

أجريت التعديلات، وأصبحت الرسالة صالحة لمنح درجة الماجستير في هندسة الميكانيك العام اختصاص هندسة حرارية

تصريح خطي

أنا الموقع أدناه أصرح بعلمي الكامل وقبولي:

1. أن كل ما ينتج عن البحث والأطروحة هو ملكية فكرية ومالية بالتشارك مع جامعة دمشق، وأنني ألتزم بأخذ موافقة الجامعة في حال رغبتي بنشر البحث أو الأطروحة أو جزء منها نصاً أو مضمونا خارج إطار الجامعة (من دور نشر أو مكتبات أو مواقع الكترونية وغيرها من وسائل النشر).

2. أنه لا يوجد أي جزء من هذه الأطروحة تم اقتباسه من عمل علمي آخر أو أنجز للحصول على شهادة أخرى في جامعة دمشق أو أية جامعة أو معهد تعليمي داخل أو خارج الجمهورية العربية السورية.

الاسم والتوقيع:

المهندسة وعد هندي السمان

شكر وتقدير

يا منارة في طريق العلم

يا شجرة مثمرة تناولنا من ثمرها علماً

يرتفع به شأننا وينبت في حياتنا زهراً

لا يتمكن من محوه الزمان

أجرك استاذي عند الله عظيم

وأقدم لك جزيل الشكر والاحترام لجهودك العظيمة المضيئة.

إلى معلمي الفاضل

الأستاذ الدكتور المهندس حسين علي تينة

وبكل اللغات أتوجه بخالص الشكر إلى الدكاترة الأفاضل

الذين أناروا طريقنا بالمزيد من العلم والمعرفة

وأتقدم بكل الاحترام والتقدير لحضراتكم

على الدور العظيم الذين تقومون بو

من أجل تقديم الخير والعطاء للجميع.

إلى أساتذة قسم هندسة الميكانيك العام

إلى من كلّله الله بالهيبة والوقار
إلى من أحمل اسمه بكل افتخار
إلى أول قدوة لي في هذه الحياة
إلى قنديل ظلامي ونور أيامي
إلى مِعطف الأمان

A quien Dios digno de prestigio y reverencia
a quien llevo su nombre con orgullo
mi primer ejemplo a seguir en esta vida
a la luz de mis dias
el abrigo de seguridad

إليك يا سندي في الدُّنيا فهذا حلمك المنشود
آثر ما يحب على من يحب
إلى والدي الذّي لا تسعه مساحة أرض أو سماء
فإن أطلُبَ منه نجمتين يأتي حاملاً السماء
والدنا العزيز أدامك الله لنا دخراً طيلة الزمان.

أبي الغالي

para ti este sueño
a mi padre, que no ocupa un espacio de tierra o cielo, si le peido dos estrellas viene con el cielo
Nuestro querido padre, Dios te guarde para siempre.

إلى ملاكي ونور أحلامي في هذه الدُّنيا
إلى القلب الذي ينبض بالحبّ والتضحية والحنان
إلى من سهرت وتعبت وعطت دون مقابل
إلى من كانت دعواتها عنوان دربي وتبقى أمنياتي على وشك التحقق لطالما يداها في يدي
إلى من أنارت لي الحياة إلى كنزي الحقيقي إلى زهرة أيامي وعبير صباحي
إلى بسمة السنين وسر الوجود إلى أمي، فهي بيت يفوح في أرجائهِ الحنان، ونبع استمد منه أسمى مبادئ الحياة
أرجو من الله أن يمدُّ في عمرك

أمي الغالية

A mi angel y la luz de mis sueños en este mundo
Al Corazon que late con amor, sacrificio y ternura
Quien dio todo sin nada a cambio
Sus ruegos son el titulo de mi camino y mis deseos estan a punto de hacerse ya que tengo mis manos en sus manos
A quien me iluminó la vida, a la flor de mis dias y fragancia de la mañana
A la sonrisa de los años y el secreto de la existencia, mi madre la casa que respira toda la ternura y de ella aprendi los principios de la vida
Le pido a Dios que te de mucha vida

Mi querida madre

إلى من اسمه محفور في ثنايا قلبي

إلى عامود روحي وسطوع عيني إلى من لا يعوض

إلى الجبل الذّي استند عليه نفسي

إلى من التمس القوة والثقة من بريق عينه

إلى سندي في هذه الدّنيا

إلى أفضل صديق أجده كلما احتجت إليه

إلى عيني التي أرى من خلالها الدّنيا

أخي الحبيب أرجو من الله أن يمد في عمرك

إلى شركاء أحلامي إلى من أفرح لفرحهم وأحزن لحزنهم إلى الحكايات الحلوة التي لا تصفها الحروف

أختي الغالية رورو

إلى هدية الحياة

إلى نصفي الثاني وكل ابتسامتي

إلى فاكهة الحياة

إلى بلسم جراحي وسر الوجود

إلى من حلمنا.. ضحكنا.. بكينا سوياً

أختي الغالية ولاء

Quien su nombre esta grabado en los pliegues de mi Corazon

La columna espiritual y el brillo de mis ojos, incomparable

La montaña en la que se sujeta mi alma

Quien busco la fuerza y confianza en el brillo de sus ojos y mi apayo en este mundo

El mejor amigo lo encuentro siempre que lo necesito

A mis ojos que veo atraves de este mundo

Mi querido hermano, le pido a Dios que te de larga vida

A los compañeros de mis sueños a los que me alegran sus alegrias y me tristesen sus tristesas

a la linda historia que no la describen las letras

El regalo de la vida

A mi segunda mitad y toda mi sonrisa

Al fruto de la vida

Al balsamo girurgico y al secreto de la existencia

Quien soñamos .. reimos ..lloramos juntas

Mi querida hermana waleh

فهرس المحتويات:

قرار الحكم 2

تصريح خطي 3

شكر وتقدير 4

فهرس المحتويات..... 7

فهرس الاشكال 12

فهرس الجداول 14

قائمة الرموز والمصطلحات 15

المستلخص 16

خلفية البحث 16

المواد والطرائق 16

الاستنتاجات والنتائج العملية 16

الكلمات المفتاحية 16

الإطار العام للبحث 17

المقدمة 17

مشكلة البحث 17

الهدف من البحث 17

أهمية البحث 18

مسوغات البحث 18

محدوديات البحث 18

فرضيات البحث..... 18

مسلمات البحث 19

تساؤلات البحث 19

منهجية البحث 19

الفصل الأول 20
الدراسات المرجعية الحديثة حول تحديد النموذج الهجين(الريحي–الشمسي) المناسب
لتوليد الطاقة الكهربائية على الطرقات العامة 20

1–1–الدراسة المرجعية الأولى:(2019) العلاقة بين طاقة الرياح وسكك المترو 21
1–2–الدراسة المرجعية الثانية:(2020) برج الطاقة الشمسية–الرياح العمودية
على جانب الطريق 22
1–3–الدراسةالمرجعية الثالثة: (2015) نظام توليد الطاقة الهجين باستخدام
طاقة الرياح والطاقة الشمسية 24
1–4–الدراسة المرجعية الرابعة: (2021) التصميم التجريبي وتصنيع نظام
طاقة الرياح والطاقة الشمسية الهجين المحمول 25
1–5–خلاصة الأبحاث السابقة 27

الفصل الثاني 28
الدراسة النظرية لتوليد الطاقة الكهربائية على الطرقات العامة
باستثمار النموذج الهجين(الريحي–الشمسي) 28
2–1–المقدمة 29
2–2–طاقة الرياح Wind Energy 29
2–2–1– الديناميكا الهوائية لتوربينات الرياح
Aerodynamics of Wind Turbines 29
2–2–1–1– الطاقة التي توفرها الرياح 30
2–2–1–2– الطاقة القابلة للاسترداد نظريًا 30
2–2–1–2–1– طاقة الرياح اللحظية 30
2–2–1–2–2–نظرية بيتز 30

2-3-أنواع توربينات الرياح Wind Turbine Types 34

2-3-1- توربينات الرياح ذات المحور الأفقي (HAWT) 34

2-3-2- توربينات الرياح ذات المحور العمودي (VAWT) 36

2-4- أنواع توربينات الرياح ذات المحور العمودي (VAWT) 37

2-4-1-توربينات الرياح سافونيوس 37

2-4-1-1- بارامترات التصميم المهمة لدوارات SAVONIUS 38

2-4-1-1-1 عدد الشفرات 38

2-4-1-1-2 نسبة الارتفاع إلى العرض..... 39

2-4-1-1-2 نسبة التداخل 39

2-4-1-1-3 عدد المراحل 40

2-4-1-1-4 اشكال شفرات عنفة سافونيوس 41

2-4-2-توربينات الرياح داريوس 42

2-5-المزايا والعيوب الرئيسية ل VAWT 43

2-5-1- مزايا VAWT 43

2-5-2- عيوب VAWT 43

2-6-أسباب اختيار العنفة سافونيوس 44

2-7-النظام الكهربائي الشمسي 44

2-7-1- إمكانات الطاقة الشمسية ومراجعة الأدبيات 44

2-7-2-المزايا الرئيسية للطاقة المتجددة 44

2-8- الطاقة الشمسية 45

2-8-1-كيفية الحصول على الكهرباء من الطاقة الشمسية 45

2-8-2-أنواع الألواح الشمسية 46

2-8-2-1- السيليكون الأحادي البلورية (Monocrystalline Silicon) 46
2-8-2-2- السيليكون متعدد البلورات(Polycrystalline Silicon) 46
2-8-2-3- الأغشية الرقيقة (Thin Film Solar Panel) 47

الفصل الثالث 48
الدراسة العددية والتصميمية للنموذج الهجين(الريحي-الشمسي) 48
3-1-المقدمة 49
3-2- تصميم النموذج والبناء 50
3-3-الحسابات التصميمية لعنفة سافونيوس 51
3-4-التصميم بمساعدة الحاسوب 56
3-5-الحسابات التصميمية للنظام الشمسي 61
3-5-1- الخطوة الأولى: حساب الحمل الكهربائي 62
3-5-2-الخطوة الثانية: حساب عدد الألواح الشمسية 62
3-5-3-الخطوة الثالثة: حساب عدد البطاريات المطلوبة 64
3-5-3-1-خطوات حساب عدد البطاريات الكهربائية 64
3-5-4-الخطوة الرابعة: حساب منظم الشحن المناسب 67
3-5-5-الخطوة الخامسة: اختيار الانفرتر المناسب 67

الفصل الرابع 68
الدراسة الحاسوبية لعنفة سافونيوس (CFD)
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS SIMULATION 68
4-1- محاكاة ديناميك الموائع الحاسوبية 69
4-2- وصف الشبكة (Mesh Description) 70
4-3-التحقق من صحة النموذج (Model Validation) 72
4-4-استقلال الشبكة (Mesh Independence) 72

4-5-مجال الحساب وشروط الحدود

(Computation domain and boundary conditions) 74

الفصل الخامس..... 78

النتائج والمناقشة 78

5-1- النتائج التي تم الحصول عليها عند السرعة 4.5 m/s 79

5-2- النتائج التي تم الحصول عليها عند السرعة 9 m/s 82

5-3-النتائج والمناقشة 84

5-4-التوصيات 86

المراجع 87

فهرس الاشكال:

الشكل (1-1): يبين العنفة الريحية.....21

الشكل (1-2): يبين أجهزة النظام 22

الشكل (1-3): يبين الرسم التخطيطي لآلية ربط العنفة مع اللوحة الشمسية.....24

الشكل (1-4): يبين الشكل التصميمي للنموذج الاولي المستخدم.....25

الشكل (1-5): يبين الرسم البياني للاستطاعات الناتجة عند سرعات رياح مختلفة 26

الشكل (1-6): يبين الرسم البياني للطاقة الشمسية مقابل الوقت 26

الشكل (2-1): يبين التدفق من خلال توربينات الرياح 31

الشكل (2-2): يبين أنواع توربينات الرياح 35

الشكل (2-3): يبين توربينات الرياح ذات المحور الأفقي (HAWT) 35

الشكل (2-4): يبين توربينات الرياح ذات المحور العمودي (VAWT) 36

الشكل (2-5): يبين البارامترات المميزة لتوربينات الرياح

Savonius ذات الشفرتين شبه الدائرية 38

الشكل (2-6): يبين عدد الشفرات 38

الشكل (2-7): يبين نسبة الارتفاع إلى العرض لدوار سافونيوس ثنائي الشفرات..... 39

الشكل (2-8): يبين المسافة المتداخلة..... 40

الشكل (2-9): يبين مراحل دوار سافونيوس 40

الشكل (2-10): يبين اشكال شفرات عنفة سافونيوس 41

الشكل (2-11): يبين توربينات الرياح داريوس من نوع مضرب البيض 42

الشكل (2-12): يبين توربينات الرياح داريوس ذات الشفرات المستقيمة 43

الشكل (2-13) : يبين السيليكون الأحادي البلورية 46

الشكل (2-14): يبين السيليكون متعدد البلورات 47

الشكل (2-15): يبين الأغشية الرقيقة 47

الشكل (3-1): يبين النموذج التصميمي لعنفة سافونيوس 49

الشكل (3-2): يبين بارامترات عنفة سافونيوس 50

الشكل (3-3): يبين ابعاد عنفة سافونيوس وتصميم النموذج ثلاثي البعد 57

الشكل (3-4): يبين ابعاد قاعدة التوربين 58
الشكل (3-5): يبين النموذج الهجين(ريحي-شمسي) لعنفة سافونيوس 59
الشكل (3-6): يبين معدل الاشعاع الشمسي في دمشق 63
الشكل (4-1): يبين النموذج المقترح لعنفة سافونيوس..... 69
الشكل (4-2): يبين تمثيل تخطيطي لمجال السوائل الحسابية للدراسة المقترحة..... 69
الشكل (4-3): يبين mesh لشفرة سافونيوس 70
الشكل (4-4): مقارنة البيانات الحاسوبية ونتائج النموذج العددي الحالي تيان وآخرون... 72
الشكل (4-5): يبين دراسة استقلالية شبكة توربينات سافونيوس
شبه الدائرية عند TSR=1 73
الشكل (4-6): يبين منحني معامل العزم C_m المتوسطة
عند قيمة TSR =1 لتوربين سافونيوس عند السرعة 4.5 m/s 77
الشكل (4-7): منحني معامل العزم C_m المتوسطة
عند قيمة TSR =1 لتوربين سافونيوس عند السرعة 9 m/s 77
الشكل (5-1): يبين القيم المرجعية للعنفة التي تم اعتمادها في النمذجة..... 79
الشكل (5-2): يبين تدفق الرياح عند السرعة 4.5 m/s..... 79
الشكل (5-3): يبين المسافة بين العنفات 80
الشكل (5-4): يبين توزع سرعة خروج الهواء حول التوربين..... 80
الشكل (5-5): يبين توزع الضغط على وجهي التوربين 81
الشكل (5-6): يبين تدفق الرياح عند السرعة 9 m/s 82
الشكل (5-7): يبين توزع سرعة خروج الهواء حول التوربين.....82
الشكل (5-8): يبين توزع الضغط على وجهي التوربين.....83

فهرس الجداول:

الجدول (1-1): يبين بارامترات العنفة الريحية 21
الجدول (1-2): يبين البارامترات الطاقية والحركية للعنفة الريحية.....23
الجدول (1-3): يبين بارامترات اللوحة الشمسية 23
الجدول (3-1): يبين بارامترات العنفة المقترحة للتصميم..... 60
الجدول (3-2): يبين ابعاد القاعدة 60
الجدول (3-3): يبين جدول الحمل الكهربائي 62
الجدول (3-4): يبين قدرة الاحمال 64
الجدول (3-5): يبين مواصفات اللوحة الشمسية المعتمدة 66
الجدول (3-6): يبين مكونات النظام الشمسي..... 67
الجدول (4-1): يبين دراسة استقلالية حجم الشبكة للتوربينات المحاكاة 71
الجدول (4-2): الوصف التفصيلي لبارامترات تحليل الفروقات الحاصلة في العقد CFD ..74

قائمة الرموز والمصطلحات:

الرمز	التسمية		الواحدة
$P_{turbine}$		استطاعة العنفة	watt
ρ		كثافة الهواء	Kg/m^3
A		المساحة	m^2
D		قطر العنفة	m
R		نصف القطر	m
H		ارتفاع العنفة	m
N		عدد الدورات في الدقيقة	rpm
V	Inlet velocity	سرعة المدخل	m/s
ω		السرعة الزاوية	Rad/s
T_s		العزم	N.m
C_p	Power coefficient	معامل الأداء(معامل القدرة)	–
C_m	Moment coefficient	معامل عزم الدوران	–
λ=TSR		نسبة السرعة الطرفية	–
G_k		إنتاج الطاقة الحركية الاضطرابية	–
$G\omega$		إنتاج الطاقة الدورانية	–
Yk		توزع k في الاضطراب	–
$Y\omega$		توزع ω في الاضطراب	–

المستلخص

خلفية البحث:

يدور هذا المشروع إلى تصميم محاكاة وتقييم أداء توربينات الرياح ذات المحور الرأسي (توربينات الرياح سافونيوس والألواح الشمسية) لتحويل سرعة الرياح إلى حركة دورانية باستخدام هذه التوربينة واللوحة الشمسية العلوية لزيادة الطاقة الناتجة ويعد بدء تشغيل سرعة الرياح المنخفضة، والعمل في أي اتجاه للرياح، والضوضاء الأقل من بعض مزايا نموذج VAWT–Savonius.

المواد والطرائق:

تم إجراء دراسة وبحث شامل لاكتشاف معاملات النموذج حيث يحتوي التوربين الرأسي على دوار سافونيوس شبه الدائري ذو شفرتين والذي تم تقييمه بواسطة ديناميك الموائع الحاسوبي(CFD) لتحليل أداء الدوار.

الاستنتاجات والنتائج العملية:

تشير النتائج أنه عند قيمة ثابتة لـ TSR= λ =1 وسرعة دخول الهواء قبل العنفة عند القيمتين 4.5m/s وعند القيمة 9 m/s، حيث تبين أنه عند السرعة 4.5 m/s بلغ معامل القدرة الأقصى في توربين سافونيوس C_p = 0.217703 وقيمة الاستطاعة الفعلية للعنفة تساوي(6.31845w) حيث تعتبر هذه الاستطاقة قليلة جدا و غير مرضية فعلياً، تبين أيضا عند السرعة 9 m/s أن بلغ معامل القدرة الأقصى C_p = 0.2875 وقيمة الاستطاعة الفعلية للعنفة تساوي (70.84 w)، نستنتج أيضا في هذه الدراسة أن المسافة بين كل عنفة وعنفة هي 4 متر، و من خلال الحسابات التصميمية للوحة الشمسية تم اعتماد لوحة شمسية قدرها 200w.

الكلمات المفتاحية: توربينات الرياح ذات المحور الرأسي، سرعة الرياح، محاكاة، ديناميك الموائع الحاسوبي(CFD)، معامل القدرة C_p، لوحة شمسية، توربينات الرياح سافونيوس.

الإطار العام للبحث

المقدمة:

تعتبر الطاقة المتجددة هي أهم موضوع في العالم في الوقت الحاضر. الوقود الاحفوري في العالم تتضاءل بسرعة ولم يتم تحديد أي احتياطيات. بالإضافة إلى ذلك، قد يتسبب توليد الطاقة من الوقود الأحفوري في العديد من المشكلات البيئية مثل انبعاث غازات الدفيئة والاحتباس الحراري والأمطار الحامضية. تلعب مصادر الطاقة المتجددة دورًا مهمًا للغاية في السنوات الأخيرة مثل طاقة الرياح وضوء الشمس والمطر والمد والجزر والأمواج والحرارة الجوفية ... إلخ.

يركز هذا البحث في تصميم توربينات الرياح ذات المحور العمودي والتي تستخدم بشكل فعال طاقة الرياح الناتجة عن حركة الهواء على الطرق السريعة. لذلك يمكن استخلاص الحد الأقصى من طاقة الرياح بواسطة توربينات الرياح ذات المحور العمودي مقارنة بتوربينات الرياح ذات المحور الافقي. لقد قمنا بدراسة توربينات الرياح ذات المحور الرأسي من نوع سافونيوس حيث يعمل هذا التوربين تحت جميع الظروف البيئية ويقبل الرياح من أي اتجاه. عندما تمر السيارة على الطريق السريع فإنها تنتج كمية كبيرة من الهواء بسبب سرعتها ويضرب هذا الهواء شفرة التوربين العمودي مما يؤدي الى دوران التوربين **[1]**.

مشكلة البحث:

تحديد السرعة المثلى لتوليد الطاقة الكهربائية على الطرقات العامة عن طريق العنفات العمودية (دمشق–المتحلق الجنوبي)

الهدف من البحث:

ايجاد الأداء المناسب والتصميم المناسب للنظام الهجين (الريحي– الشمسي) من خلال دراسة تحليلية تجريبية حاسوبية.

أهمية البحث:

تكمن أهمية البحث في حل مشكلة تأمين الكهرباء على الطرق السريعة في سوريا من مصدر مجاني ودائم وبالموقع.

مسوغات البحث:

الحاجة الماسة لتوليد الطاقة الكهربائية في ظل انقطاع التيار الكهربائي في الظروف الحالية والاستفادة من الطاقات المتجددة بشكل دائم من خلال الرياح المتوفرة والمتزايدة عن طريق حركة السيارات والطاقة الشمسية خلال فترات الاشعاع الشمسي.

محدوديات البحث:

البحث محدد بدراسة نموذج هجين (ريحي– شمسي) وعلى الطرق السريعة فقط ومحور شاقولي للتوربين الريحي.

فرضيات البحث:

- السرعة الوسطية لحركة السيارات (سرعة الرياح الناجمة عن هذه الحركة)
- المكان: دمشق–المتحلق الجنوبي

مسلمات البحث:

في هذا النموذج الطاقة التي نحصل عليها من الطاقة الريحية التي تعمل خلال فترة (الليل والنهار) والطاقة الشمسية التي تعمل خلال فترة النهار هي طاقة متجددة باستمرار.

تساؤلات البحث:

- ما هي اسباب اختيار النموذج الهجين (الريحي– الشمسي)؟
- ما هي كمية الطاقة الكهربائية التي يمكن الحصول عليها من النموذج الهجين؟
- ما هي شروط اختيار هذا المكان لهذه الدراسة؟
- ما هي الميزات التي تقدمها هذا النموذج للمكان المختار؟

منهجية البحث:

يتم في هذا البحث نوعين من الدراسات:

الدراسة التحليلية: دراسة وتصميم نموذج أولي لتوربينات الرياح ذات المحور الرأسي من نوع Savonius وفق شروط طريق المتحلق الجنوبي لدمشق.

الدراسة الحاسوبية CFD: نمذجة النموذج باستخدام تقنية الموائع الحاسوبية CFD بهدف الحصول على أفضل اداء و اقصى قدر ممكن من الكفاءة و تحديد الابعاد المثالية بين العنفات.

الفصل الاول

الدراسات المرجعية الحديثة حول تحديد النموذج الهجين(الريحي-الشمسي) المناسب لتوليد الطاقة الكهربائية على الطرقات العامة

الفصل الأول: الدراسات المرجعية الحديثة حول تحديد النموذج الهجين(الريحي–الشمسي) المناسب لتوليد الطاقة الكهربائية على الطرقات العامة

1–1–الدراسة المرجعية الأولى:

Farooque, M. O. Relation between Wind energy & Metro Rails(2019) **International Journal of Engineering Trends and Applications**

العلاقة بين طاقة الرياح وسكك المترو (2019) [2] الهند

ناقشت هذه المقالة علاقة طاقة الرياح بالمترو من خلال النظر في جميع الجوانب التكنولوجية بتفاصيل فنية كبيرة، حيث تعد الهند رابع أكبر دولة تولد الطاقة بواسطة طاقة الرياح. النتائج: يمكن زيادة الطاقة الناتجة عن التوربين عمليًا عن طريق تطبيق الألواح الشمسية كما هو مبين في الشكل (1–1) لأنها تزيد من سرعة الرياح وتزيد من الطاقة ويبين الجدول (1–1) بارامترات الطاقة لتي تم الحصول عليها عند قيم مختلفة لسرعة الرياح وعند المساحة $A= 1.5*0.5 =0.75m^2$. الاستنتاج: إن التوربين الفردي سيولد 1 كيلوواط من الطاقة مما يوفر متوسط احتياجات الكهرباء اليومية لإنارة منزلين. إن تركيب هذه التوربينات على التوالي له مزايا عديدة مثل، زيادة الطاقة النظيفة للمدينة تصبح أن تعمل على الطاقة المتجددة مع انخفاض مستوى ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.

الشكل (1–1): يبين العنفة الريحية

الجدول (1–1): يبين بارامترات العنفة الريحية

S.NO	WIND SPEED m/s	Area (l*b) In meters	Density of air (ρ) kg/m3	Power (P) P= ρ* ½* A*V3 in watts
1	7m/s	0.75	1.2754	**32.809**
2	10m/s	0.75	1.2754	**95.65**
3	12m/s	0.75	1.2754	**165.29**
4	15m/s	0.75	1.2754	**322.835**
5	18m/s	0.75	1.2754	**371.90**
6	20m/s	0.75	1.2754	**510.61**

1-2-الدراسة المرجعية الثانية:

Shah, M. H., & Alandjani, G. O. (2020).Roadside vertical solar-wind energy tower. **3cTecnología:** glosas de innovación aplicadas a la pyme, *9*(1), 51-63

برج الطاقة الشمسية-الرياح العمودية على جانب الطريق(2020) [3] (ألمانيا)

الهدف: تقدم هذه الورقة مثل هذه التقنية التي عند استخدامها في زاوية الطريق يمكنها إرسال الطاقة مباشرة إلى الشبكة أو تشغيل مصابيح الشوارع اعتماداً على طريقة التشغيل. يتم ذلك عن طريق بناء توربين الرياح savoniusبالإضافة الى وضع لوحة شمسية أعلى التوربين وإنتاج المزيد من الطاقة كما هو مبين في الشكل (1-2) في حين أن إنتاج الطاقة قد يختلف اعتماداً على حركة المرور وظروف المدينة فإن أقصى جهد للدوارS واللوحة الشمسية يبلغ بين 19.1V و 19.65Vفولت. النتائج: ارتفاع التوربين 1.24m وقطر التوربين0.375m و$A=0.46\ m^2$، حيث يمثل الجدول (1-2). البارامترات الطاقية والحركية للعنفة الريحية، وايضا يمثل الجدول (1-3). بارامترات اللوحة الشمسية.

الشكل (1-2): يبين أجهزة النظام

الجدول (1–2): يبين البارامترات الطاقية والحركية للعنفة الريحية

WIND SPEED m/s	RPM	VOLTAGES
4.1	200	14.91V
4.5	241	17.0V
4.9	253	18.17V
5.1	265	18.64V
5.4	302	19.1V

الجدول (1–3): يبين بارامترات اللوحة الشمسية

TIME	VOLTAGE
8:00 a.m.	10V
10:00 a.m.	15.46V
12:00 p.m.	19.65V
14:00 p.m.	19.34V
17:00 p.m.	14.62V
20:00 p.m.	0.0V

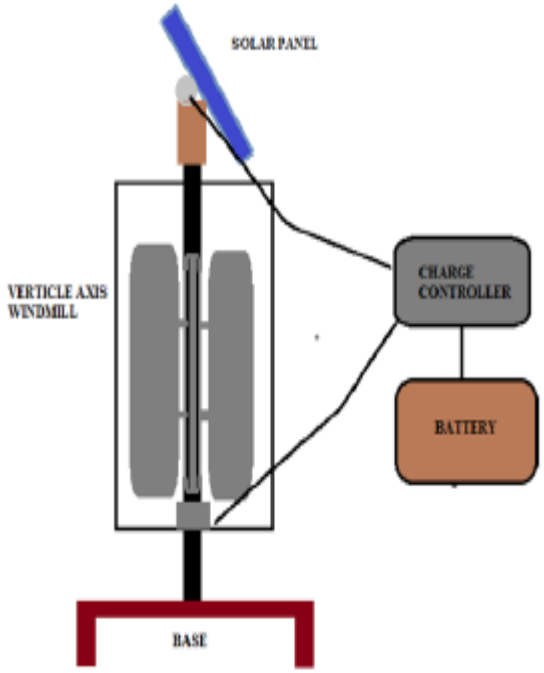
1-3- الدراسة المرجعية الثالثة:

Ingole, A. S., & Rakhonde, B. S. (2015). Hybrid power generation system using wind energy and solar energy. **International Journal of Scientific and Research Publications**, 5(3), 1-4

نظام توليد الطاقة الهجين باستخدام طاقة الرياح والطاقة الشمسية (2015) [4] الهند

الهدف: تتناول هذه الورقة توليد الكهرباء باستخدام مصدرين مجتمعين يؤديان إلى توليد الكهرباء بتكلفة معقولة دون الإضرار بتوازن الطبيعة حيث تستخدم الألواح الشمسية لتحويل الطاقة الشمسية وتستخدم توربينات الرياح لتحويل طاقة الرياح إلى طاقة كهربائية.

الطرق والنتائج: من الواضح أن نظام الطاقة الهجين الكامل من هذا النوع قد يكون مكلفاً للغاية من حيث العمالة والتشغيل. ومع ذلك، يمكن الحصول على العديد من نفس الفوائد من وجود مجموعة فرعية من النظام كما في الشكل (1-3) يبين الرسم التخطيطي لآلية ربط العنفة مع اللوحة الشمسية على سبيل المثال لوحة PV، والبطاريات، وعاكس، أو حتى مجرد لوحة PV ومحرك DC. الاستنتاج: امكانية إعطاء طاقة مستمرة باستخدام نظام الطاقة الهجين، يتضمن هذا النظام أساسًا تكامل نظامين للطاقة يمنحان طاقة مستمرة ويمكن استخدام هذه الطاقة الكهربائية لأغراض مختلفة.



الشكل (1-3): يبين الرسم التخطيطي لآلية ربط العنفة مع اللوحة الشمسية

1-4-الدراسة المرجعية الرابعة:

Kaladgi, A. R., Navaneeth, I. M., Afzal, A., Baig, M. A. A., Reddy, A. R., & Buradi, A. (2021, July). Experimental design and fabrication of portable hybrid wind and solar energy system. **In *AIP Conference Proceedings*** (Vol. 2358, No. 1, p. 050001). AIP Publishing LLC

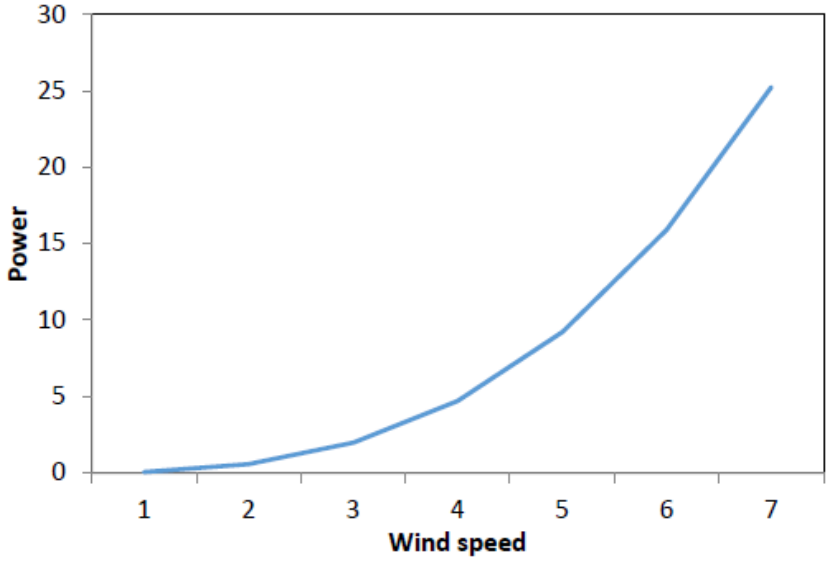
التصميم التجريبي وتصنيع نظام طاقة الرياح والطاقة الشمسية الهجين المحمول (2021)[5]

الهند

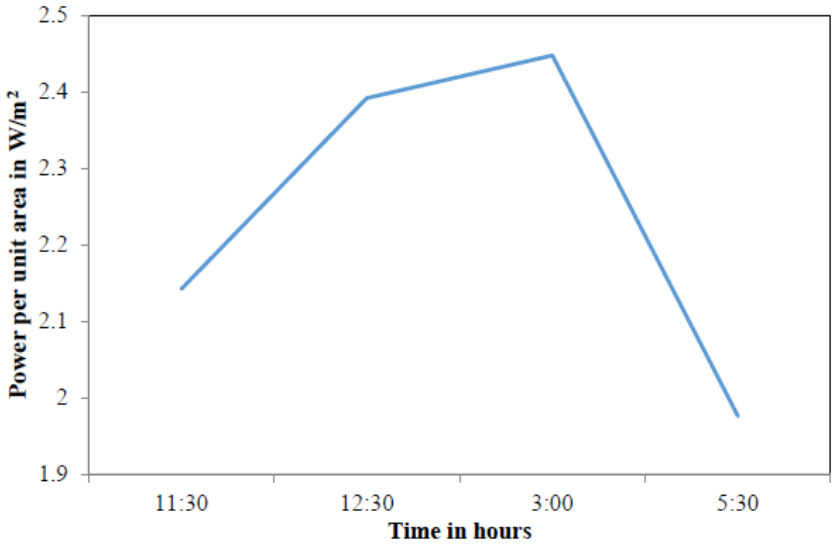
الهدف: لهذا البحث، تم تطوير وتصنيع نظام مشترك قائم بذاته للطاقة الشمسية وطاقة الرياح. أبعاد هذا الجهاز القابل للنقل هو العرض=2,4m والارتفاع =12m يتكون هذا الجهاز من ألواح شمسية(120 واط) و توربينات رياح (1,5 كيلو واط) ، جهاز التحكم بالشحن بالطاقة الشمسية ، والبطارية ، والتحكم في البطارية بدون الحاجة إلى شبكة، يمكن استخدام هذا الجهاز الهجين في الطرق السريعة، والعديد من التطبيقات الأخرى. الطرق والنتائج: يوضح الشكل (1-4) الشكل التصميمي للنموذج الأولي المستخدم في المشروع الحالي إنه نظام هجين بوجود لوحة شمسية ومحول شحن شمسي لتسخير الطاقة الشمسية. توربينات الرياح الموجودة أسفل اللوح الشمسي عبارة عن توربين ذو محور عمودي بشفرات دوارة ومولد يستخدم لتسخير طاقة الرياح.

الشكل (1-4): يبين الشكل التصميمي للنموذج الاولي المستخدم

الاستنتاج: يوضح الشكل (1–5) الرسم البياني لسرعة الرياح مقابل الاستطاعة هناك زيادة في الطاقة أيضاً لسرعة رياح تبلغ 6 م / ث، كانت الطاقة التي تم الحصول عليها 15.904 واط، ويوضح الشكل (1–6) الرسم البياني للطاقة الشمسية التي تم الحصول عليها باستخدام الألواح الشمسية مقابل الوقت. هناك تبايناً كبيراً في القدرة خلال النهار حيث تكون شدة الطاقة الشمسية عالية، وبعد الساعة 3:00 مساء تستمر في التناقص مع انخفاض كثافة الطاقة الشمسية. يتطلب الأمر قدراً كبيراً من السرعة لا تقل عن 7 م/ث مطلوبة للحصول على طاقة مقبولة.



الشكل (1–5): يبين الرسم البياني للاستطاعات الناتجة عند سرعات رياح مختلفة



الشكل (1–6): يبين الرسم البياني للطاقة الشمسية مقابل الوقت

1-5-خلاصة الأبحاث السابقة:

إنّ إنشاء وحدة توليد طاقة على الطريق، والتي عند وضعها على طول جانب الطريق يمكن اعتبارها مصدرًا للطاقة الخضراء. يتكون النظام من Savonius Rotor الذي يلتقط الطاقة المهدورة الناتجة عن حركة السيارات ويحولها إلى عمل مفيد يتم إنجازه حيث توربينات الرياح هي في الأساس توربينات رياح ذات محور عمودي من نوع سافونيوس، تقوم الألواح الشمسية بتحويل الطاقة الضوئية من الشمس لإنتاج المزيد من الطاقة الكهربائية.

- الدراسة المرجعية الأولى: عند زيادة السرعة يزيد عندها الاستطاعة، مساحة العنفة: $A=1.5*0.5=0.75m^2$
- الدراسة المرجعية الثانية: عند زيادة سرعات رياح مختلفة تزيد عندها الاستطاعة، مساحة العنفة: $A=1.24*0.375=0.46m^2$
- الدراسة المرجعية الثالثة: يبين رسم تخطيطي لآلية توصيل العنفة الريحية واللوحة الشمسية.
- الدراسة المرجعية الرابعة: هناك زيادة في الاستطاعة عند سرعة رياح 6 m/s كانت الاستطاعة 15.904 w، لذلك يتطلب الامر قدراً كبيراً من السرعة لا تقل عن 7 m/s للحصول على طاقة مقبولة.

يجب التنويه أنّ في الدراسات المرجعية السابقة لم يتطرقوا الى توضيح فكرة التباعد بين العنفات ولكن في هذا البحث من خلال الدراسة الحاسوبية تم وضع المسافة المثلى بين العنفات.

الفصل الثاني

الدراسة النظرية لتوليد الطاقة الكهربائية على الطرقات العامة باستثمار النموذج الهجين(الريحي-الشمسي)

الدراسة النظرية لتوليد الطاقة الكهربائية على الطرقات العامة باستثمار النموذج الهجين(الريحي–الشمسي)

2–1–المقدمة:

تتمتع الطاقة المتجددة بتاريخ طويل، يمتد لمئات السنين، لكن استخدامها يتغير بمرور الوقت. قبل القرن التاسع عشر، عندما أصبح الفحم بارزًا، كانت مصادر الطاقة المتجددة هي الوسيلة الأساسية لإنتاج الطاقة. تعد الكتلة الحيوية، التي تم استخدامها للوقود منذ حوالي 790 ألف سنة، أقدم شكل من أشكال الطاقة المتجددة. وشملت مصادر الطاقة المتجددة الأخرى العمالة البشرية والحيوانية، والطاقة المائية، والحطب، من بين أمور أخرى. تكشف البيانات التاريخية عن استخدام الطاقة في الولايات المتحدة أنه قبل عام 1900، كان النفط والغاز الطبيعي يحملان نفس المستوى من الأهمية الذي تتمتع به طاقة الرياح والطاقة الشمسية حاليًا منذ عام 2010. وقد تم الاعتراف بأهمية الطاقة المتجددة والتأكيد عليها في السبعينيات عندما حذر علماء البيئة من نضوب احتياطيات النفط في نهاية المطاف. على الرغم من أن الطاقة الشمسية قد تم استخدامها للتدفئة والتبريد لعدة قرون، إلا أن إمكانات الطاقة الشمسية تحققت لأول مرة في عام 1911 مع تطوير الألواح الشمسية. ومع ذلك، فإن تكلفة بناء مزارع شمسية كاملة بهذه الألواح كانت باهظة، مما جعل طاقة الرياح خياراً أكثر جاذبية بين مصادر الطاقة المتجددة الأخرى.

2–2–طاقة الرياح Wind Energy

تولد توربينات الرياح الكهرباء عن طريق تسخير قوة الرياح المتدفقة عبر شفرات الجنيح. أثناء دوران الشفرات، يتم توصيل التوربين بمولد، والذي ينتج الكهرباء. تتراوح قدرة توربينات الرياح الحديثة ذات المرافق من 600 كيلوواط إلى 15 ميجاواط، لكن توربينات الرياح الأكثر استخدامًا في الشركات التجارية تبلغ قدرتها 1.5–3 ميجاواط. تتناسب كمية الطاقة المولدة بواسطة توربينات الرياح بشكل مباشر مع المكعب أو القوة الثالثة لسرعة الرياح. وهذا يعني أنه إذا تضاعفت سرعة الرياح، فإن الطاقة المتوفرة من الرياح تزيد بمقدار ثمانية أضعاف[6] .

2–2–1– الديناميكا الهوائية لتوربينات الرياح Aerodynamics of Wind Turbines

يبدأ تصميم توربينات الرياح بمعرفة القوى الديناميكية الهوائية المؤثرة على التوربين. وبالتالي فإن إنتاج الطاقة من توربينات الرياح يعتمد على التفاعل بين الدوار والرياح. وبالتالي يتم تحديد الجوانب الرئيسية لأداء توربينات الرياح، مثل إنتاج الطاقة، من خلال القوى الديناميكية الهوائية التي تولدها الرياح.

2-2-1-1- الطاقة التي توفرها الرياح

- الطاقة الحركية

تعمل توربينات الرياح عن طريق تحويل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة حركية دورانية في التوربين، ومن ثم إلى طاقة كهربائية يمكن توفيرها. الطاقة الحركية هي:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \qquad \ldots\ldots (1-2)$$

- كتلة الهواء

عند الضغط الجوي الطبيعي، أي درجة حرارة 15 درجة مئوية، تبلغ كثافة الهواء حوالي 1.225 (كجم/م^3).

2-2-1-2- الطاقة القابلة للاسترداد نظريًا

2-2-1-2-1- طاقة الرياح اللحظية

توربينات الرياح هي آلة قادرة على تحويل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة ميكانيكية. ثم يتم تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية بواسطة مولد الرياح. تعطى الاستطاعة اللحظية للرياح بالعلاقة:

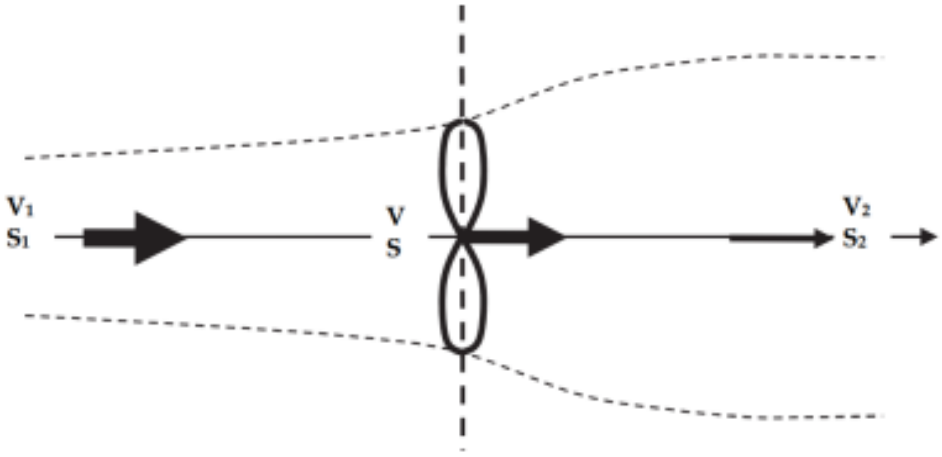
$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad \ldots\ldots\ldots (2-2)$$

P_{wind} : استطاعة العنفة الريحية (W) A: مساحة الجزء الدوار (m^2)

ρ :الكثافة (كجم/م3) V: سرعة الرياح m/s

2-2-1-2-2-نظرية بيتز

النظرية الأساسية لتصميم وتشغيل توربينات الرياح مستمدة من نهج يعتمد على المبادئ الأولى للحفاظ على الكتلة والحفاظ على الطاقة في تدفق الرياح. تم تقديم هذه المعادلة الأساسية لأول مرة من قبل المهندس الألماني ألبرت بيتز في عام 1919 ونشرها في كتابه "طاقة الرياح واستخراجها من خلال طواحين الهواء" في عام 1926، وتنطبق النظرية المطورة على كل من VAWT و HAWT .طور بيتز النظرية العالمية لآلات الرياح وهذا بدوره يشير إلى أن سرعة الرياح عند الدوار يمكن اعتبارها متوسط سرعات الرياح المدخل والمخرج. ويوضح الشكل (2-1) التدفق من خلال توربينات الرياح.



الشكل(2−1): يبين التدفق من خلال توربينات الرياح

فرضيات الجريان:

- الضغط هو الضغط الجوي، وكثافة الهواء ثابتة ولا توجد أي حرارة منتقلة
- العضو الدور يقوم بتحويل الرياح الى طاقة حركية دورانية مع اهمال فواقد الاحتكاك
- إذا اعتبر جريان الهواء جريانا غير قابل للانضغاط فيمكن كتابة قانون حفظ الكتلة أو معادلة الاستمرارية

بتطبيق قانون حفظ الكتلة:

$$\dot{m} = \rho A_1 V_1 = \rho A V = \rho A_2 V_2 = \text{constant} \quad \ldots\ldots\ldots (3-2)$$

حيث ان:

V_1: سرعة الرياح قبل الدخول الى العضو الدوار m/s

V_2: سرعة الرياح الخارج من العضو الدوار m/s

$A_1=A_2=A$: مساحة الجزء الدوار m^2

ρ: كثافة الهواء $1.2\ kg/m^3$

وهذا يعبر عن حقيقة أن معدل تدفق الكتلة ثابت على طول تدفق الرياح. واستمرارًا للاشتقاق، تعطي نظرية أويلر القوة التي تؤثر بها الريح على الجزء الدوار على النحو التالي:

$$F = m\,a \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (4-2)$$

$$= m\,\frac{dV}{dt}$$

$$= \dot{m}\,\Delta V$$

$$F = \rho A V\,(V_1 - V_2) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5-2)$$

يتم إعطاء الطاقة التفاضلية أو العمل التفاضلي المنجز في تيار الرياح بواسطة :

$$dE = F\,dx \qquad \ldots\ldots (6-2)$$

ومنه استطاعة الرياح المنتجة بواسطة العضو الدوار:

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{F\,dx}{dt} = F\,V \qquad \ldots\ldots\ldots (7-2)$$

ومنه تكون استطاعة الرياح المنتجة بواسطة العضو الدوار بتعويض(2−5) في (2−7) نجد:

$$P = \rho\,A\,v^2\,(V_1 - V_2) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8-2)\ 1$$

ومنه الطاقة الحركية المستخرجة بواسطة العضو الدوار (الطاقة الميكانيكية)

$$\Delta k_e = \frac{1}{2}\,m\,(V_1^2 - V_2^2) \qquad \ldots\ldots\ldots (9-2)$$

$$P = \frac{\Delta K_e}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2}{\Delta t} = \frac{1}{2}\,\dot{m}\,(v_1^2 - v_2^2) \qquad \ldots\ldots (10-2)$$

$$P = \frac{1}{2}\,\dot{m}\,(v_1^2 - v_2^2) \qquad \ldots\ldots\ldots (11-2)$$

$$P = \frac{1}{2}\,\rho\,A\,v\,(v_1^2 - v_2^2) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12-2)\ 2$$

من المعادلة (2−8) و(2−12)

$$\rho\,A\,v^2\,(V_1 - V_2) = \frac{1}{2}\,\rho\,A\,v\,(v_1^2 - v_2^2) \qquad \ldots\ldots (13-2)$$

$$v\,(v_1 - v_2) = \frac{1}{2}\,(v_1^2 - v_2^2)$$

$$v\,(v_1 - v_2) = \frac{1}{2}\,(v_1 - v_2)\,(v_1 + v_2)$$

و نستنتج أن السرعة عند الدوار تساوي: $v = \frac{v_1 + v_2}{2}$ ……(14−2)

و منه تصبح معادلة القدرة (2−12)

$$P = \frac{1}{2}\ \rho\ A\ \left(\frac{v_1+v_2}{2}\right)\ (v_1^2 - v_2^2)$$

$$P = \frac{1}{4}\ \rho\ A\ (v_1 + v_2)\ (v_1^2 - v_2^2)$$

$$P = \frac{1}{4}\ \rho\ A\ (\ v_1^3 - v_1 v_2^2 + v_2 v_1^2 - v_2^2\ )$$

$$P = \frac{1}{4}\ \rho\ A\ v_1^3\ (\ 1 - (\frac{v_2}{v_1})^2 + (\frac{v_2}{v_1}) - (\frac{v_2}{v_1})^2\ ) \quad \text{.....(15-2)}$$

نعلم ان طاقة الرياح P_w

$$P_w = \frac{1}{2}\ \rho\ A\ v^3 \qquad \text{.....(16-2)}$$

نفرض ان : $\frac{v_2}{v_1} = x$

$$P_{out} = \frac{P_w}{2}\ (\ 1 + x - x^2 - x^3\ ) \qquad \text{.....(17-2)}$$

نحصل على قيمة عظمى للاستطاعة بانعدام المشتق: $\frac{dP_{out}}{dx} = 0$

$\frac{P_w}{2}(\ 1 - 2x - 3x^2\ ) = 0$ $\qquad$ $\frac{P_w}{2} \neq 0$

$$(\ 1 - 2x - 3x^2\ ) = 0$$

$3x^2 + 2x - 1 = 0 \quad \rightarrow \quad x = -1$ مرفوض

لان استطاعة العنفة لا يمكن ان تكون قيمة سالبة

$\frac{v_2}{v_1} = X$ ، $X = \frac{1}{3}$ مقبول

$$P_{out_{max}} = \frac{P_w}{2}\ (\ 1 + \frac{1}{3} - (\frac{1}{3})^2 - (\frac{1}{3})^3\ ) \qquad \text{.....(18-2)}$$

$$P_{out_{max}} = \frac{16}{27}\ P_w = 0.593\ P_w$$

$$P_{out_{max}} = C_p\ P_w \qquad \text{.....(19-2)}$$

معامل بيتز Betz coefficient = $C_p = 0.593$ .....(20-2)

تشير قيمة معامل بيتز الى ان توربينات الرياح تستطيع استخلاص 59.3 % من الطاقة من تدفق الرياح.

- معامل القدرة لتوربين الرياح:

هي النسبة بين القدرة المنتجة بواسطة التوربين والقدرة الكلية للرياح قبل دخولها الى التوربين.

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_{wind}}$$

$$C_{P_{max}} = \frac{P_{out_{max}}}{P_{wind}} = \frac{\frac{16}{27} P_{wind}}{P_{wind}} = \frac{16}{27} = 0.593 = 59.3\ \%$$

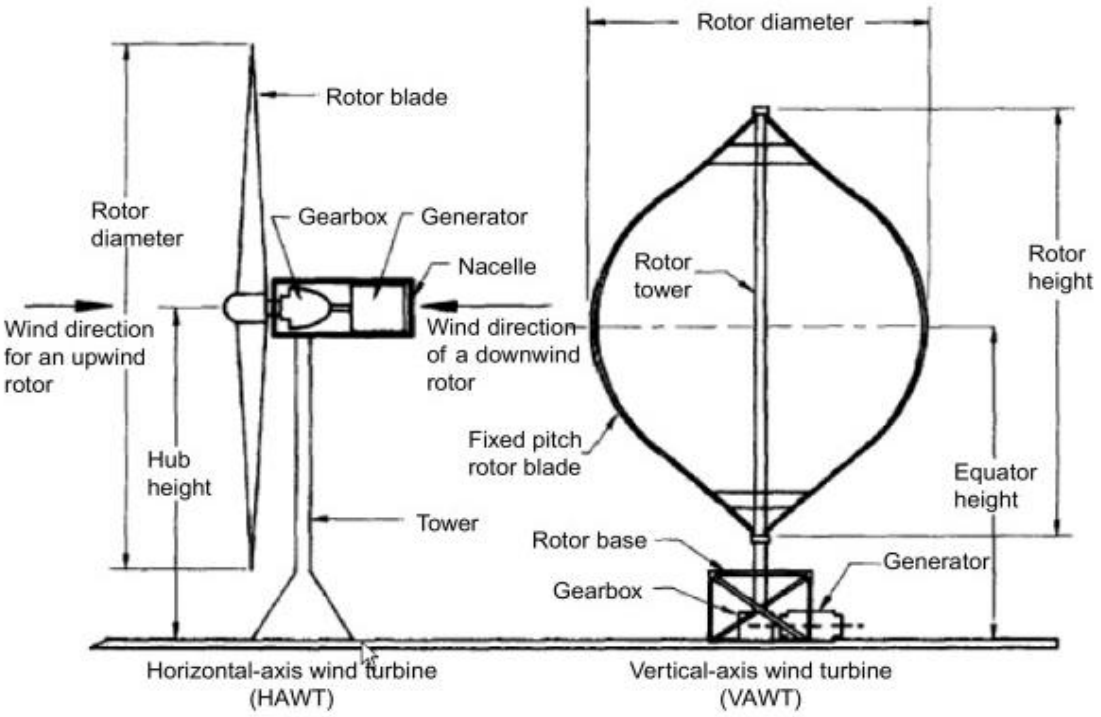
أي لا تستطيع أي توربينه رياح التقاط أكثر من 59.3% من الطاقة الحركية للرياح الواردة في قناة مفتوحة[7] .

2-3-أنواع توربينات الرياح Wind Turbine Types

يمكن تصنيف توربينات الرياح على نطاق واسع إلى نوعين: المحور الأفقي (HAWT)والمحور العمودي (VAWT). هناك نوعان مختلفان من توربينات الرياح العمودية. أحدهما هو نموذج سافونيوس، الذي يرتكز عليه مشروعنا، والنوع الآخر هو نموذج داريوس. النموذج الأول يشبه أسطوانة جالون مقطوعة إلى نصفين مع وضع النصفين على عمود دوار. النموذج الثاني أصغر حجماً ويشبه إلى حد كبير مضرب البيض. معظم توربينات الرياح المستخدمة اليوم هي من طراز سافونيوس. قدم موقع الطاقة المتجددة في المملكة المتحدة بعض المعلومات حول هذين النموذجين. "إن سافونيوس هو نوع من مولدات توربينات الرياح ذات المحور العمودي (VAWT)التي اخترعها Sigurd Johannes Savoniusمن فنلندا في عام 1922، على الرغم من أنه تمت تجربة تصميمات مماثلة لتوربينات الرياح في القرون السابقة"[8]. و يوضح الشكل(2-2) أنواع توربينات الرياح.

2-3-1- توربينات الرياح ذات المحور الأفقي (HAWT)

تُستخدم توربينات الرياح ذات المحور الأفقي بشكل شائع في مزارع الرياح واسعة النطاق التي تولد الكهرباء وتزودها بالشبكة لاستخدامها في المنازل والمصانع. في هذا النوع من التوربينات، تدور الشفرات بشكل موازٍ للأرض. يظهر مثال لتوربينات الرياح ذات المحور الأفقي في الشكل (2-3) [9].



الشكل(2–2): يبين أنواع توربينات الرياح.

الشكل (2–3): يبين توربينات الرياح ذات المحور الأفقي (HAWT)

2-3-2- توربينات الرياح ذات المحور العمودي (VAWT)

النوع الآخر من توربينات الرياح الذي سيتم مناقشته في هذه الدراسة هو توربينات الرياح ذات المحور العمودي(VAWT) . في VAWTs، يتم محاذاة عمود الدوار الرئيسي عموديًا، مما يتسبب في دوران الدوار بشكل عمودي على الأرض. لا تحتاج هذه التوربينات إلى أن تكون موجهة نحو اتجاه الريح لتعمل. يوضح الشكل (2-4) أدناه مثالاً علىVAWT [10] .

الشكل (2-4): يبين توربينات الرياح ذات المحور العمودي (VAWT)

وكما هو مبين في الشكل (2-2) تتكون توربينات الرياح من [11]:

- الشفرات الدوارة لتوربينات الرياح التي تلتقط الطاقة الحركية للرياح وتنقلها إلى محور الدوار.

- صندوق التروس والمولد الكهربائي، إلى جانب المكونات المهمة الأخرى، في علبة توربينات الرياح.

- برج توربينات الرياح الذي يدعم العلبة والدوار، ومن الأفضل بشكل عام أن يكون لديك برج أطول لأن سرعة الرياح تميل إلى أن تكون أعلى على ارتفاعات أكبر.

- علبة التروس الخاصة بتوربينات الرياح هي المسؤولة عن زيادة سرعة دوران العمود إلى مستوى مناسب للمولد لإنتاج الكهرباء.

- مولد توربين الرياح الذي يقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية التي ينتجها العمود الدوار إلى طاقة كهربائية.

توربينات الرياح ذات المحور العمودي (VAWTs) موجودة منذ قرون وخضعت لتغيرات عديدة. ومع ذلك، فهي لا تستخدم على نطاق واسع مثل توربينات الرياح ذات المحور الأفقي بسبب محدوديتها في تسخير سرعات الرياح العالية على ارتفاعات أعلى.

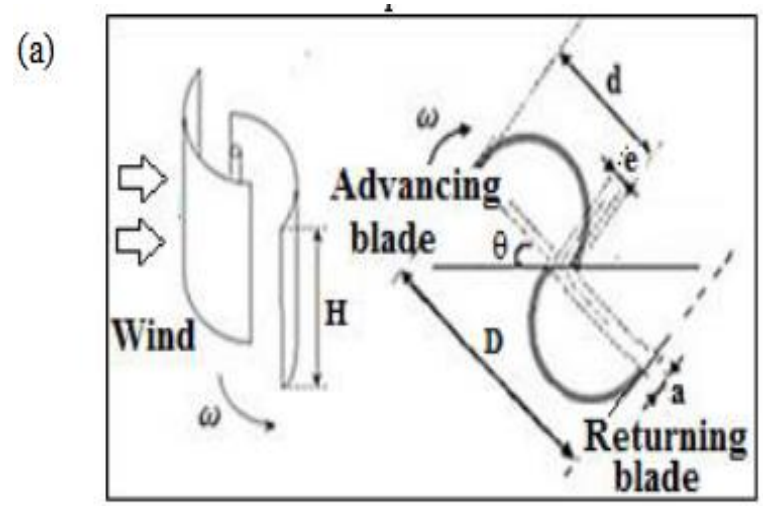
في حين أن توربينات الرياح ذات المحور الأفقي(HAWTs) كانت الخيار المفضل لإنتاج طاقة الرياح على نطاق واسع نظراً لأدائها الديناميكي الهوائي المتفوق وكفاءتها، فإن هناك عدة عوامل تجذب انتباه الباحثين نحو توربينات الرياح ذات المحور العمودي (VAWTs) . قد تكون أجهزة VAWTs أكثر ملائمة للتطبيقات صغيرة النطاق، كما أنها فعالة في توليد الكهرباء في الظروف التي تكافح فيها أجهزة HAWTs التقليدية لتوفير كفاءة معقولة، كما هو الحال في سرعات الرياح المنخفضة وتدفقات الرياح المضطربة لذلك يمكن لتوربينات الرياح ذات المحور العمودي (VAWTs) أن تعمل بشكل مستقل عن اتجاه الرياح، كما أن تشغيلها الهادئ يجعلها مناسبة تماماً للمناطق المزدحمة بالسكان. تعتبر شفرات VAWT أبسط وأقل تكلفة في التصنيع من شفرات HAWT المعقدة، كما أنها مناسبة لوحدات التوليد الصغيرة والمنتشرة في مواقع معينة.

2-4- أنواع توربينات الرياح ذات المحور العمودي (VAWT)

تم تطوير العديد من التصميمات المبتكرة لتوربينات الرياح ذات المحور العمودي (VAWTs)التي تستخدم بنجاح الدفع والسحب الديناميكي الهوائي.

2-4-1-توربينات الرياح سافونيوس

مبدأ العمل: توربينات الرياح Savonius عبارة عن جهاز بسيط ذو محور عمودي له شكل أجزاء نصف أسطوانية متصلة بالجوانب المقابلة للعمود الرأسي (للترتيب ذو الشفرتين) وتعمل على قوة السحب، لذلك لا يمكن أن تدور بشكل أسرع من سرعة الرياح .هذا يعني أن نسبة سرعة الطرف λ (TSR)تساوي 1 أو أصغر. عندما تهب الرياح في الهيكل وتتلامس مع الأسطح المقابلة (أحدهما محدب والآخر مقعر)، تكون قوتان مختلفتان (السحب والدفع) على هذين السطحين .يعتمد المبدأ الأساسي على اختلاف قوة السحب بين الأجزاء المحدبة والأجزاء المقعرة من ريش الدوار عندما تدور حول عمود رأسي. وبالتالي، فإن قوة السحب هي القوة الدافعة الرئيسية لدوار سافونيوس. و يوضح الشكل(2-5) البارامترات المميزة لتوربينات الرياحSavonius ذات الشفرتين شبه الدائرية [12].

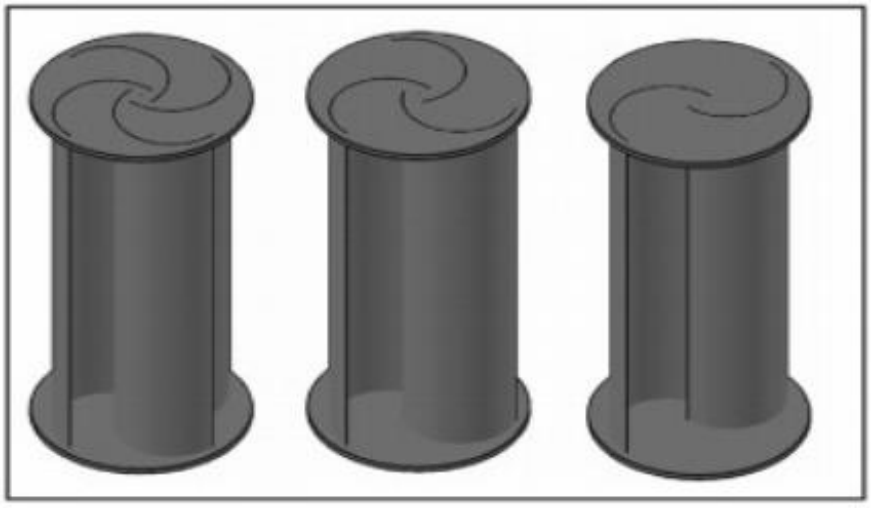


الشكل(2-5): يبين البارامترات المميزة لتوربينات الرياحSavonius ذات الشفرتين شبه الدائرية

2-4-1-1- بارامترات التصميم المهمة لدوارات SAVONIUS

2-4-1-1-1 عدد الشفرات

عدد الشفرات له تأثير مهم في أداء الدوار، قامت العديد من الدراسات بفحص الرقم الأمثل لشفرة الدوار، و استنتجت المملكة المتحدة Saha and S. Thotla أن العدد الأمثل للشفرات هو اثنان لدوار سافونيوس سواء كان أحادياً أو مرحلتين أو ثلاث مراحل، كما خلص M.Hadi Ali إلى أن توربين الرياح سافونيوس ذو ريشتين أكثر كفاءة ، لديها معامل طاقة أعلى في نفس ظروف الاختبار من تلك الخاصة بثلاث ريش توربينات الرياح Savonius [12] ، و يوضح الشكل(2-6) عدد الشفرات[13].



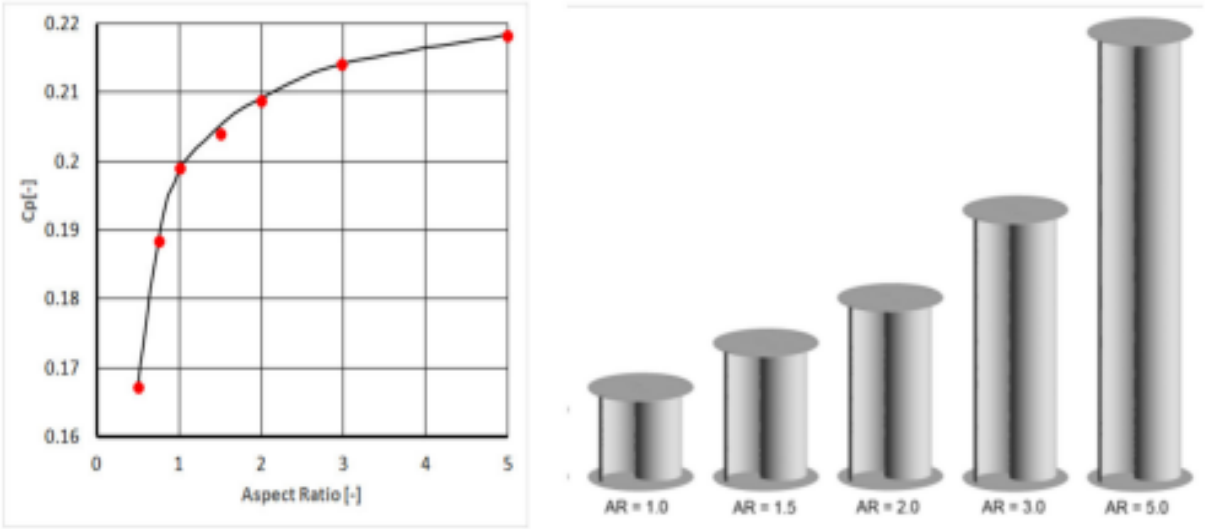
الشكل (2-6): يبين عدد الشفرات

2-1-1-4-2 نسبة الارتفاع إلى العرض

نسبة الارتفاع إلى العرض هي نسبة ارتفاع الدوار H إلى قطره D

$$\text{Aspect Ratio} = \frac{H}{D} \qquad \ldots\ldots\ldots(21\text{-}2)$$

تعد نسبة الارتفاع إلى العرض بارامتر مهم تؤثر على أداء دوار Savonius . نسبة الارتفاع إلى العرض العالية تواجه دوارات Savoniusخسائر أقل بسبب تأثير أطراف الدوار. إن زيادة نسبة الارتفاع إلى العرض لتوربين Savonius له تأثير مماثل لإضافة الألواح الطرفية. تشير غالبية الدراسات إلى أن نسبة الارتفاع إلى العرض التي تبلغ حوالي 5.0 توفر نتائج مرضية لأداء دوارات Savonius [14]، ويوضح الشكل (2-7) نسبة الارتفاع إلى العرض لدوار سافونيوس ثنائي الشفرات [15].



الشكل (2-7): يبين نسبة الارتفاع إلى العرض لدوار سافونيوس ثنائي الشفرات

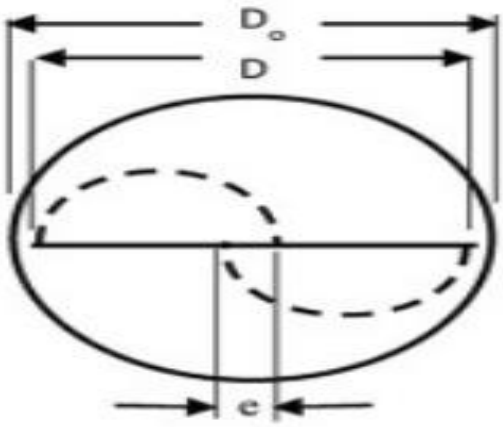
2-1-1-4-2 نسبة التداخل

نسبة التداخل هي نسبة مسافة التداخل (المسافة التي تتداخل بها الحافة الداخلية للشفرة مع الحافة الداخلية للشفرة المجاورة) الى قطر التوربين بأكمله ويوضح الشكل (2-8) المسافة المتداخلة[13] .

$$\text{Overlap Ratio} = \beta = \frac{e}{D} \qquad \ldots\ldots(22\text{-}2)$$

حيث D: قطر التوربين

e: المسافة المتداخلة

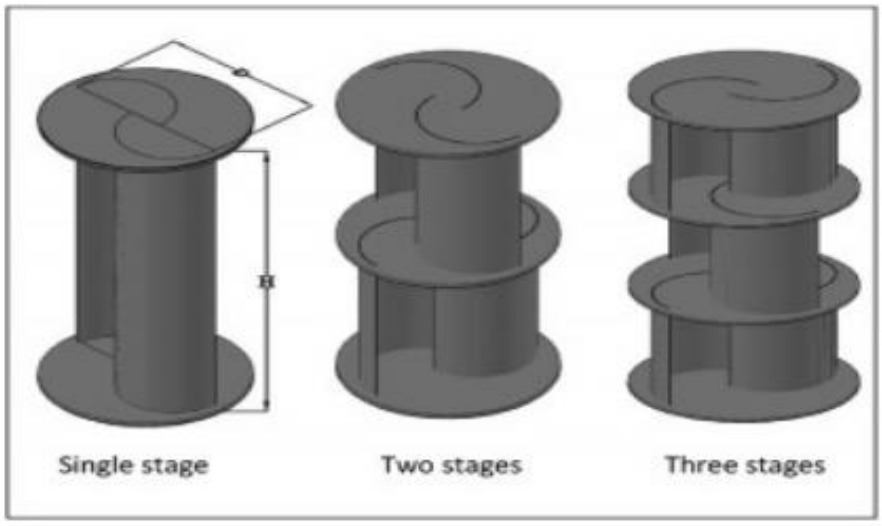


الشكل (2–8): يبين المسافة المتداخلة

نسبة التداخل هو بارامتر رئيسي تؤثر على بنية التدفق داخل الدوار وبالتالي على أدائه الديناميكي الهوائي، وقد تم التحقيق على نطاق واسع في مجال نسبة التداخل، ولكن لا يوجد اتفاق بين النتائج المكتسبة في الدراسات السابقة .وفقاً ل Blackwell، تتراوح القيمة المثلى لنسبة التداخل من 0.1 إلى 0.15 [12].

2–4–1–1–3 عدد المراحل

يمكن أن يختلف عدد المراحل في توربينات الرياح Savonius اعتماداً على التصميم والتطبيق المطلوب. يمكن تصميم توربينات سافونيوس بمرحلة واحدة، والتي تتكون من دوار مع مجموعة واحدة من الشفرات متصلة بعمود رأسي. وبدلاً من ذلك، يمكن تصميمها بمراحل متعددة، حيث يتم تركيب دوارات متعددة مع مجموعات شفرات فوق بعضها البعض، مما يزيد من خرج الطاقة للتوربين كما هو موضح في الشكل (2–9)[13] .



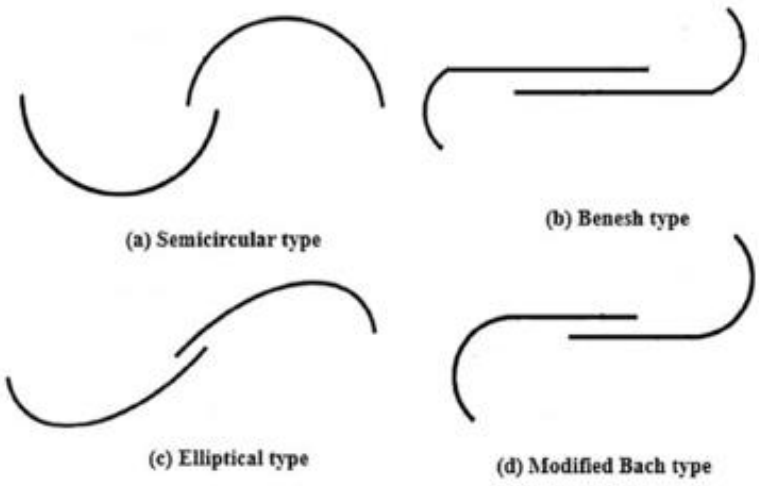
الشكل (2–9): يبين مراحل دوار سافونيوس

يعتمد عدد المراحل المستخدمة في توربينات سافونيوس على التطبيق المحدد ومتطلبات الطاقة، حيث تنتج المراحل المتعددة بشكل عام إنتاج طاقة أعلى ولكن هناك أيضاً بعض العيوب لاستخدام مراحل متعددة في توربينات الرياح سافونيوس. ومنها [16]:

- زيادة التعقيد: تتطلب إضافة مراحل متعددة إلى توربين سافونيوس المزيد من المكونات وتزيد من تعقيد التصميم. وهذا يمكن أن يزيد من صعوبة تصنيع التوربينات وتركيبها وصيانتها.
- تكلفة أعلى: عادةً ما تكون تكلفة توربينات سافونيوس متعددة المراحل أعلى من تكلفة توربينات المرحلة الواحدة بسبب المكونات الإضافية والتعقيد.
- زيادة الوزن: تؤدي إضافة مراحل إضافية إلى التوربين إلى زيادة وزن النظام ككل. وهذا يمكن أن يزيد من صعوبة التثبيت وقد يتطلب هياكل دعم إضافية.
- انخفاض الكفاءة: في حين أن المراحل المتعددة يمكن أن تزيد من إنتاج الطاقة للتوربين، إلا أنها يمكن أن تقلل أيضاً من الكفاءة الإجمالية. وذلك لأن المراحل الإضافية يمكن أن تسبب سحباً إضافياً، مما يقلل من أداء كل مرحلة.
- فعالية محدودة: إن استخدام المراحل المتعددة بشكل عام ليس فعالاً في زيادة إنتاج الطاقة في توربينات سافونيوس كما هو الحال في الأنواع الأخرى من توربينات الرياح.

2-4-1-1-4 اشكال شفرات عنفة سافونيوس

على الرغم من أن الدوارات Savonius تشبه بشكل عام دوارات على شكل حرف S، فقد كانت هناك محاولات قليلة لتعديل شكل الشفرة من أجل زيادة خصائصها الديناميكية الهوائية
ويوضح الشكل (2-10) اشكال شفرات عنفة سافونيوس [17].



الشكل (2-10): يبين اشكال شفرات عنفة سافونيوس

2-4-2-توربينات الرياح داريوس

تم اختراع Darrieus VAWT الحديث من قبل المهندس الفرنسي جورج جينز ماري داريوس. قدم براءة اختراعه في عام 1931 في الولايات المتحدة الأمريكية والتي تضمنت كلا من VAWTs "مضرب البيض (أو ذو الشفرات المنحنية)" و"الشفرات المستقيمة". تظهر الرسومات التخطيطية لهذين الاختلافين لمفاهيم داريوس في الأشكال (2-11) [18]و (2-12) [19] على التوالي. إن VAWTs من نوع Darrieus هي في الأساس توربينات رياح مدفوعة بقوة الرفع. يتكون التوربين من شفرتين أو أكثر على شكل انسيابي متصلة بعمود عمودي دوار. تخلق الرياح التي تهب فوق الخطوط الهوائية للشفرة رفعاً ديناميكياً هوائياً وتسحب الشفرات في الواقع[20] .

الشكل (2-11): يبين توربينات الرياح داريوس من نوع مضرب البيض

الشكل (2–12): يبين توربينات الرياح داريوس ذات الشفرات المستقيمة

في سوق توربينات الرياح صغيرة الحجم، يعتبر Darrieus VAWT البسيط ذو الشفرات المستقيمة، والذي يُطلق عليه غالباً giromill أو cyclo-turbine، أكثر جاذبية لتصميم شفرته البسيط.

2–5–المزايا والعيوب الرئيسية ل VAWT

2–5–1– مزايا VAWT

- يعد توربينات الرياح ذات المحور الرأسي (VAWTs)خيار فعال من حيث التكلفة لتوليد الطاقة، خاصة في مناطق المدن، وهي مناسبة تماماً للاستخدام المنزلي.
- توربينات الرياح ذات المحور العمودي يمكنها التقاط الرياح من أي اتجاه، بينما تتطلب توربينات الرياح ذات المحور الأفقي نظام لتوجيه الشفرات الدوارة نحو اتجاه الريح لتعمل بشكل صحيح كما أنها فعالة في المناطق الجبلية أو القريبة من الساحل.
- يمكن لـ VAWTs توليد الطاقة بسرعات رياح أقل مقارنةً بـ HAWTs.

2–5–2– عيوب VAWT

- تتمتع معظم VAWTs في المتوسط بكفاءة أقل من HAWT الشائعة، ويرجع ذلك أساساً إلى السحب الإضافي الذي تتمتع به عندما تدور شفراتها في مهب الريح. الإصدارات التي تقلل السحب تنتج المزيد من الطاقة، خاصة تلك التي توجه الرياح إلى منطقة المجمع.
- وجود دوارات قريبة من الأرض حيث تكون سرعات الرياح أقل ولا يمكنها الاستفادة من سرعات الرياح الأعلى أعلاه.

- ونظراً لأن VAWTs لا يتم نشرها بشكل شائع بسبب العيوب الخطيرة المذكورة أعلاه، فإنها تبدو جديدة بالنسبة لأولئك الذين ليسوا على دراية بصناعة طاقة الرياح. وهذا ما جعلهم في كثير من الأحيان موضوعاً لمطالبات جامحة وعمليات احتيال استثمارية على مدار الخمسين عاماً الماضية[21] .

2-6-أسباب اختيار العنفة سافونيوس

1. مناسب للرياح المضطربة
2. انتاج المزيد من الطاقة لان تقبل الرياح من جميع الاتجاهات
3. تكلفة أقل للبناء والنقل
4. لا تؤدي أي ضرر اثناء الدوران
5. إمكانية توليد الطاقة في ظل سرعات الرياح المنخفضة

2-7-النظام الكهربائي الشمسي[22]

2-7-1- إمكانات الطاقة الشمسية ومراجعة الأدبيات

يواجه العالم مشاكل متزايدة نتيجة استخدام الطاقات التقليدية وغير النظيفة، وتمثل هذه المشاكل تحديا يتطلب من المجتمع البشري اتخاذ مجموعة من السياسات والإجراءات الفعالة للتغلب على هذه المشاكل، وذلك قبل أن تنفد موارد الكوكب. استنفاد الأمر الذي قد يؤدي إلى الخروج عن نطاق السيطرة. ولذلك جاءت الحاجة إلى تفعيل دور المصمم الصناعي في المساعدة على الحد من هذه المشاكل، وذلك من خلال استغلال وتوظيف الطاقات النظيفة، بما يحقق أحد الأهداف الرئيسية للاستدامة، وهو الحفاظ على البيئة من خلال الحفاظ على الطاقة، فهي تمثل في ترشيد استهلاك الطاقة وكذلك اللجوء إلى استخدام الطاقات البديلة النظيفة التي ليس لها عبئ على البيئة أو المجتمع وفي نفس الوقت لها مردود اقتصادي.

2-7-2-المزايا الرئيسية للطاقة المتجددة

وتشمل أنواع الطاقة المتجددة الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والأمطار، والمد والجزر، والأمواج، والكتلة الحيوية، والطاقة الحرارية المخزنة في القشرة الأرضية، مما يجعلها مصدراً للطاقة لا ينضب، وأضرارها المناخية أو البيئية تكاد تكون معدومة. وفيما يلي أهم المزايا الرئيسية للطاقة المتجددة:

1- متجددة باستمرار.

2- تقليل الانبعاثات الحرارية.

3- رفع مستوى النمو الاقتصادي.

4- يوفر فرصة عمل جديدة.
5- توفير الوقود والطاقة بتكلفة أقل.
6- تقليل تكاليف الصيانة.

وفي العقود الأخيرة، تم تطوير طرق أكثر ابتكارا وأقل تكلفة لتسخير طاقة الرياح والطاقة الشمسية. أصبحت الطاقة المتجددة أو الطاقة البديلة مصدرا أكثر أهمية للطاقة. بالإضافة إلى ذلك، نشهد اعتماداً واسع النطاق لأشكال مختلفة من الطاقة المتجددة، من الألواح الشمسية على الأسطح إلى مزارع الطاقة الشمسية الساحلية الضخمة. حتى أن بعض المجتمعات الريفية أصبحت تعتمد عليها اعتماداً كلياً في التدفئة والإضاءة، فهي أقل تكلفة، وأقل ضرراً على البيئة، ومتاحة في جميع أنحاء العالم.

2-8- الطاقة الشمسية

تزود الشمس الأرض بطاقة تزيد عن إجمالي احتياجات العالم من الطاقة، حيث أن الطاقة التي يمكن الحصول عليها من ضوء الشمس تكفي احتياجات العالم واستهلاكه. تعتبر الشمس المصدر الرئيسي للعديد من مصادر الطاقة الموجودة في الطبيعة. تتشكل جميع أنواع الطاقات بما فيها البترول والغاز الطبيعي والفحم نتيجة لحرارة الشمس، بالإضافة إلى مصادر الطاقة الشمسية وطاقة الأمواج والطاقة الكهرومائية. تستخدم الطاقة الشمسية مباشرة في العديد من التطبيقات مثل: التدفئة، والإضاءة، وتسخين المياه، والتبريد، وإنتاج البخار، وتحلية مياه البحر، وتوليد الكهرباء الحرارية، كما تستخدم الطاقة الشمسية لإنتاج الكهرباء مباشرة من خلال الخلايا الكهروضوئية.

2-8-1-كيفية الحصول على الكهرباء من الطاقة الشمسية

وفيما يلي خطوات تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة شمسية:

1- تتكون الألواح من خلايا كهروضوئية (PV)تمتص الإشعاع الشمسي خلال النهار.
2- تحتوي كل خلية شمسية على رقائق شبه موصلة مصنوعة من طبقتين من السيليكون، موجبة وسالبة الشحنة، ويتكون بينهما مجال كهربائي. وتساهم هذه العملية في توليد التيار الكهربائي.
3- يتم توليد التيار الكهربائي على شكل DC، لذا تقوم المحولات المثبتة مع اللوح الشمسي بتحويل الطاقة من DC إلى AC، حتى يمكن استخدامها في توليد الطاقة.
4- البطاريات أو المخزنة حرارياً تقوم بتخزين الطاقة الفائضة التي يتم تجميعها أثناء النهار والاستفادة منها في الليل وفي الأيام الممطرة أو الغائمة.

2-8-2-أنواع الألواح الشمسية

الألواح الشمسية هي العنصر الرئيسي الذي يولد الكهرباء والأنواع الثلاثة الرئيسية للألواح الشمسية هي كما يلي:

2-8-2-1- السيليكون الأحادي البلورية (Monocrystalline Silicon):

الخلايا التي تشكل الطبقات الأحادية هي سبائك السيليكون التي تم تقسيمها إلى شرائح. تعطي كفاءة تصل إلى 17.5% وعمرها يصل إلى 25 سنة أو أكثر. ويوضح الشكل (2-13) التالي شكل اللوحة.

الشكل (2-13): يبين السيليكون الأحادي البلورية

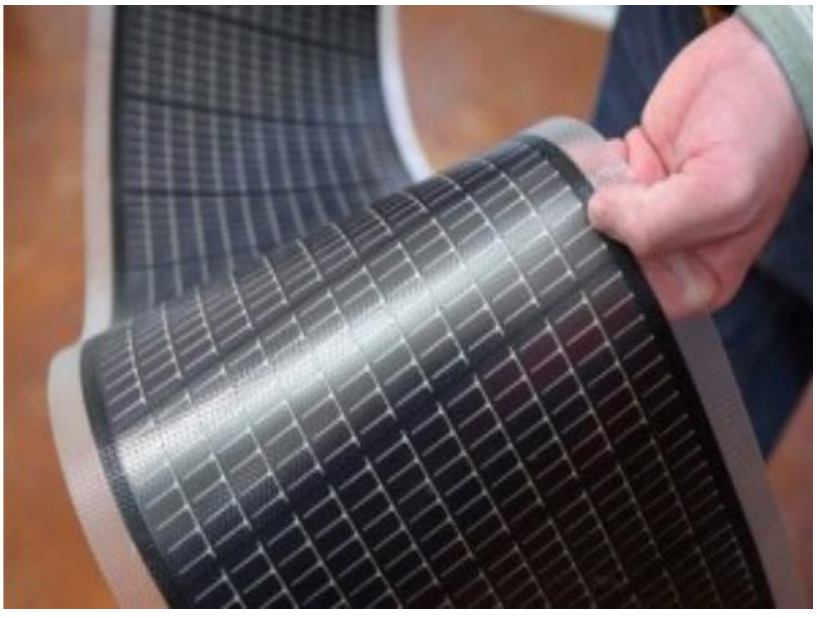
2-8-2-2- السيليكون متعدد البلورات(Polycrystalline Silicon) :

الفرق بين متعدد البلورات وأحادي البلورية هو أن الخلايا عبارة عن مربعات مكدسة، كما هو موضح في الشكل (2-14). أنها أقل تكلفة مقارنة بالخلايا الأحادية. وتعطي كفاءة تصل إلى 17.5% وعمرها الافتراضي 25 سنة أو أكثر.

الشكل (2-14): يبين السيليكون متعدد البلورات

2-8-2-3- الأغشية الرقيقة (Thin Film Solar Panel):

كما هو موضح في الشكل (2-15)، فإن هذا النوع من الألواح الشمسية رقيق وانسيابي، ويتوافق مع انحناء السطح الذي تم تركيبه عليه. مناسبة لمجموعة متنوعة من الاستخدامات، بما في ذلك أسطح القوارب ومركبات النقل. ومن عيوبه أنه أقل الأنواع كفاءة حيث لا تزيد كفاءته عن 12%. وتتميز بعمر افتراضي أقصر من الألواح المفردة والمتعددة، حيث تدوم حتى 15 عاماً فقط.



الشكل (2-15): يبين الأغشية الرقيقة

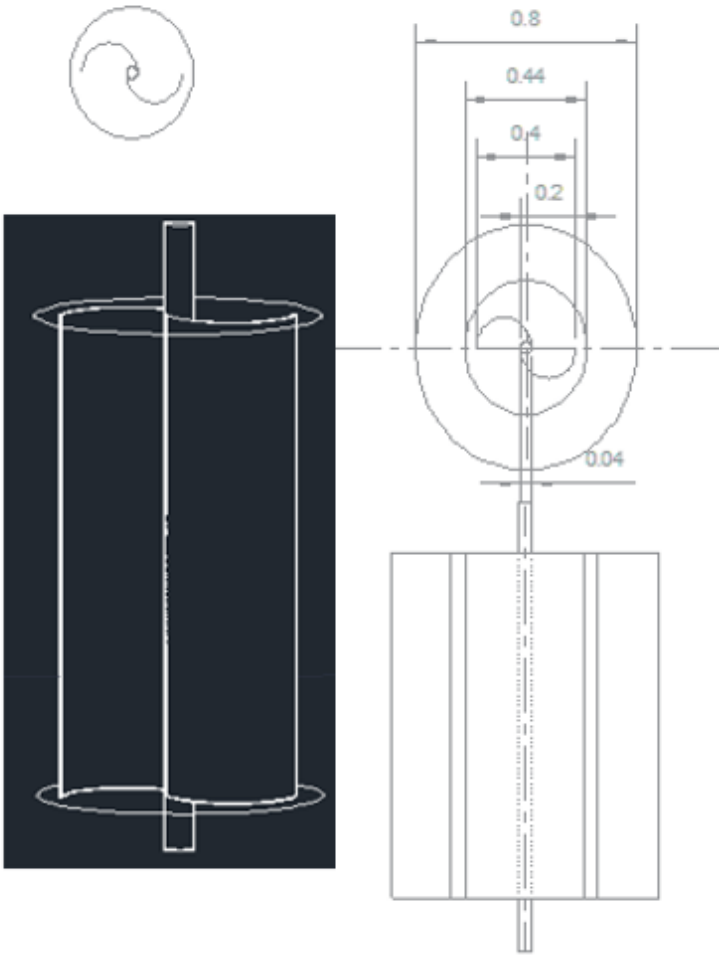
الفصل الثالث

الدراسة العددية والتصميمية للنموذج الهجين(الريحي–الشمسي)

الدراسة العددية والتصميمية للنموذج الهجين(الريحي–الشمسي)

3–1–المقدمة

دراسة الأدبيات هي مرحلة الإعداد، مثل البحث عن المجلات والأبحاث المتعلقة بتصميم توربينات الرياح ذات المحور العمودي(VAWT) باستخدام ديناميك الموائع الحاسوبي. الخطوة التالية هي تصميمSAVONIUS VAWT، والتصميم المستخدم هو تصميم تم إنشاؤه باستخدام برنامج AutoCAD كما هو موضح في الشكل(3–1) التصميم ثنائي الابعاد ل VAWT، ومن ثم تحويله الى برنامج ANSYS لتحليل النموذج المقترح بعد تصميم توربينات الرياح ذات المحور العمودي، سيتم محاكاة VAWT ثنائية الأبعاد لتحديد السرعة والضغط وتدفق الهواء لهذه التوربينة، و يوضح الشكل(3–1) نموذج الشفرة لتوربينات الرياح ذات المحور العمودي من النوع Savonius (الوحدة بالمتر).

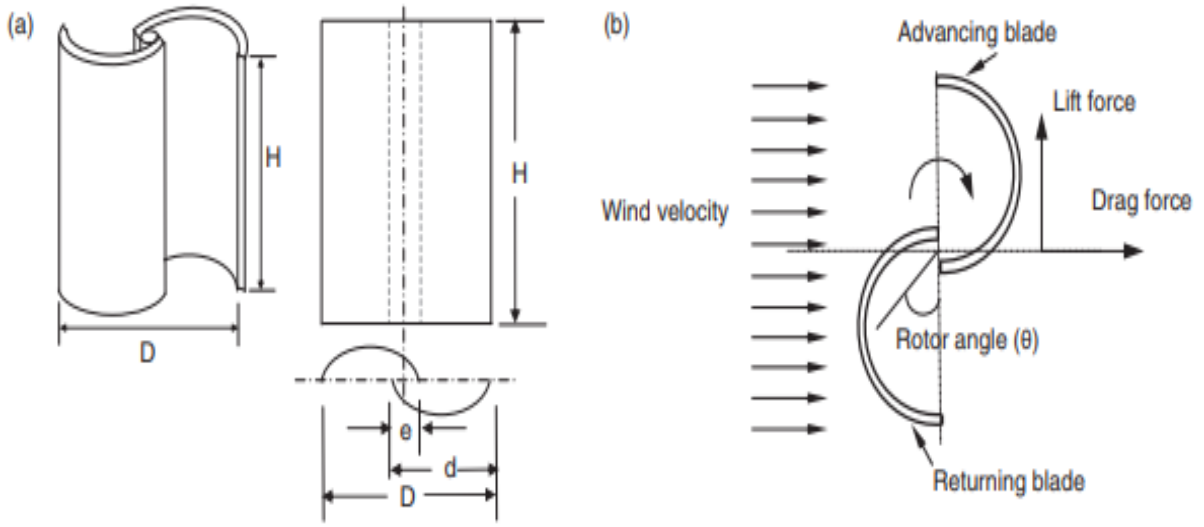


الشكل (3–1): يبين نموذج تصميمي لعنفة سافونيوس

3-2- تصميم النموذج والبناء

يتم اختيار قيم البارامترات اللازمة لتصميم النموذج والاعتماد على ما يلي

حيث يوضح الشكل (3-2) [23] البارامترات الاساسية:



الشكل (3-2): يبين بارامترات عنفة سافونيوس

- اعتماداً على الدراسات المرجعية السابقة يتم اعتماد ارتفاع العنفة H=1.3 m و قطر العنفة D= 0.4 m و زاوية الشفرة 180° بناء على ما تم دراسته سابقا من اشكال الشفرات تم اختيار شكل الشفرة شبه دائرية (semicircular blade) ، و بناءً على الارتفاع و القطر و الرسم على برنامج الأوتوكاد يتم تحديد بقية البارامترات.

- مكان الدراسة وفق طريق المتحلق و تبعاً لمديرية المرور تم أخذ قيمة السرعتين (4.5 – 9 m/s) لهبوب الرياح بناءً على الكثافة المرورية للمكان المختار مع أخذ بعين الاعتبار ان في بعض اللحظات لا يوجد حركة مرورية (حركة سيارات).

- شكل العنفة المستخدمة لا يتأثر باتجاه الريح أي أن كيف ما كان اتجاه الريح محصلة القوى الناتجة ترطبت بتصميم العنفة وترطبت بسرعة الريح.

3-3-الحسابات التصميمية لعنفة سافونيوس

بعض العلاقات اللازمة لحسابات طاقة توربين سافونيوس

- تحسب استطاعة عنفة سافونيوس من العلاقة الشهيرة التالية:

$$P_{turbine} = 1/2 \times \rho \times A \times V^3 \times Cp \ \ (watts) \ \ [3] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \ (1-3)$$

حيث:

$$A = D \times H \quad (m^2) \quad \ldots\ldots\ldots \ (2\text{-}3)$$ مساحة العنفة

D (m) :قطر العنفة، ρ:1.2 (kg/m^3) كثافة الهواء

H (m): ارتفاع العنفة، Cp: معامل القدرة(معامل Betz`s)

V (m/s): سرعة دخول الهواء قبل العنفة

وبالتالي تعطى عدد الدورات في الدقيقة بالعلاقة:

$$N = (60 \div 2\pi) \times \omega \ (rpm) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3\text{-}3)$$ عدد الدورات في الدقيقة

ومنه نحصل على ω من خلال:

$$\omega = \lambda \times (v \div r) \quad (rad/s) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}3)$$

$$r = D/2 \ (m)$$

ومنه نحسب العزم من العلاقة:

$$T_s = P/\omega \quad (N.m) \ \ldots\ldots\ldots (5\text{-}3)$$

حساب استطاعة التوربينات خلال:

- حساب المساحة: $A = 1.3 \times 0.4 = 0.52 \ m^2$
- حساب D_o من العلاقة: $D_o = 1.1 \ D \quad \ldots\ldots (6\text{-}3)$

بما أن $D = 0.4 \ m$ $D_o = 1.1(0.4) = 0.44 \ m$

- طريقة حساب نسبة التداخل :Overlap Ratio

$$\text{Overlap Ratio} = \beta = \frac{e}{D} = \frac{overlap\ distance}{D} = \frac{\text{مسافة التداخل}}{D} \quad \ldots\ldots\ldots (7-3)$$

- من خلال رسم كافة ابعاد الدوار نتج لدينا أن البعد بين الشفرة والشفرة الداخلية المجاورة هي 0.04 m أي أن مسافة التداخل = 0.04 m

$$\beta = \frac{0.04}{0.4}$$

$$\beta = 0.1$$

- نسبة الارتفاع الى العرض Aspect Ratio من خلال العلاقة:

$$AR = \frac{H}{D} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8-3)$$

$$AR = \frac{1.3}{0.4}$$

$$AR = 3.3$$

- حساب ω من خلال العلاقة:

$$\omega = \lambda \times \frac{V}{r} \qquad (rad/s) \ldots\ldots\ldots\ldots (4-3)$$

- سبب اختيار نسبة سرعة الطرف (TSR) λ: **[23]**

TSR هي بارامتر غير الأبعاد الأكثر أهمية في وصف تأثير البارامترات الأخرى على أداء دوار Savonius. يتم تعريفها على أنها نسبة سرعة طرف الدوار (u)إلى سرعة الرياح الحرة (V) ويتم التعبير عنها كـ

$$\lambda = \frac{u}{V} = \frac{\omega r}{V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (9-3)$$

منذ بداية أبحاث الدوار سافونيوس، كان TSR موضع اهتمام الباحثين. في دراسة شيلدال وآخرين، لوحظ أن معامل القدرة وجد أنه الأمثل عند(0.7-1.0) TSR لهذا السبب نأخذ λ =1.

وبما ان عنفة سافونيوس تعمل عند سرعات رياح منخفضة من 3 m/s وما فوق

- عند سرعة دخول الهواء قبل العنفة: 4.5 m/s

$$r = \frac{D}{2} = \frac{0.4}{2} = 0.2 \text{ m} \ldots\ldots\ldots (10-3)$$

$$\omega = 1 \times \frac{4.5}{0.2} = 22.5 \approx 23 \qquad (rad/s)$$

- حساب N عدد الدورات في الدقيقة

$$N = \frac{60}{2\pi} \times \omega \qquad \ldots\ldots\ldots (11-3)$$

$$N = \frac{60}{2\pi} \times 23$$

$$N = 220 \quad rpm$$

وبالتالي تكون علاقة الاستطاعة:

$$\text{الاستطاعة } P_{turbine} = \frac{1}{2} \text{ x } \rho \text{ x A x } V^3 \text{ x Cp} \quad \text{(watts)}$$

C_p: معامل القدرة و أيضا يسمى معامل بيتز وفقاً لما نشره مهندس ألماني يدعى ألبرت بيتز أن توربينات الرياح يمكنها استخراج 59.26٪ (0.59) على الأكثر من الطاقة الحركية من الرياح المتدفقة، و هذا هو الحد الأقصى للطاقة التي يمكن توليدها أو تسميتها بحد بيتز.

ومنه استطاعة العنفة حسابيا وفق قيمة بيتز من العلاقة:

$$P_{turbine} = \frac{1}{2} \text{ x } 1.225 \text{ x } 0.52 \text{ x } 4.5^3 \text{ x } 0.59$$

$$\text{الاستطاعة النظرية } P_{turbine} = 17.123 \text{ watts} \quad \ldots\ldots(12\text{-}3)$$

و منه يتم حساب العزم من العلاقة: $T_s = \frac{P}{\omega}$ .....(13-3)

$$T_s = \frac{17.123}{23} = 0.744 \quad \text{N.m}$$

من معامل عزم الدوران C_m: Coefficient of moment **[24]**، يتم حساب معامل العزم من العلاقة:

$$C_m = \frac{M}{\frac{1}{2}\rho A R\, v^2} \quad \ldots\ldots\textbf{[24]} \ (14\text{-}3)$$

$$C_m = \frac{0.744}{(0.5)(1.225)(0.52)(0.2)(4.5^2)} = 0.57 \rightarrow C_p = C_m \lambda \ldots\ldots\textbf{[24]} \ (14\text{-}3)$$

و بما أن λ=1 يتم حساب C_p حسابياً بتعويض بالعلاقة (14-3) نجد: $C_p = C_m \lambda$

$$C_p = (0.57)(1) = 0.57 \rightarrow \boxed{C_p = 0.57}$$

- عند سرعة دخول الهواء قبل العنفة: 9 m/s

عند الاستطاعة النظرية نجد: $\text{الاستطاعة } P_{turbine} = \frac{1}{2} \text{ x } \rho \text{ x A x } V^3 \text{ x Cp} \quad \text{(watts)}$

$$P_{turbine} = \frac{1}{2} \text{ x } 1.225 \text{ x } 0.52 \text{ x } 9^3 \text{ x } 0.59 = 137 \quad \text{(w)}$$

و منه: $\rightarrow \omega = \lambda \times \frac{V}{r} = 1 \times \frac{9}{0.2} = 45 \ \text{(rad/s)}$

و منه العزم تعطى بالعلاقة: $T_s = \frac{P}{\omega}$

$$T_s = \frac{137}{45} = 3.04 \ \text{N.m}$$

ومنه لحساب C_p النظرية من علاقة C_m نجد: $C_m = \frac{M}{\frac{1}{2}\rho A R\, v^2}$

$$C_m = \frac{3.04}{(0.5)(1.225)(0.52)(0.2)(9^2)} = 0.59 \quad \rightarrow C_p = C_m\ \lambda$$

و بما أن $\lambda=1$ يتم حساب C_p حسابياً من العلاقة التالية نجد: $C_p = C_m\ \lambda$

$C_p = (0.59)\ (1) = 0.59 \quad \rightarrow \boxed{C_p = 0.59}$

ووفق الاجراء التجريبي(الفعلي) بالمحاكاة نستنتج استطاعة العنفة الفعلية من العلاقة(3-13) :

<u>حيث تم اثناء اجراء المحاكاة اعتبار ما يلي:</u>

$\lambda = 1$ = TSR والسرعة 4.5 m/s و نحصل من خلال النمذجة على قيمة C_m الوسطية

للحصول من خلالها على معامل الأداء الفعلي: (3-14) **[24]**..... $C_p = C_m\ \lambda$

$$C_m\ (avg) = 0.217703$$

و هي قيمة Cp الفعلية من الاجراء: $Cp = 0.217703\ (1) = 0.217703$

- بالتعويض نستنتج قيمة الاستطاعة الفعلية للعنفة عند قيمة C_p الفعلية عند القيمة 4.5m/s:

الاستطاعة الفعلية $P_{turbine} = \frac{1}{2} \text{ x } \rho \text{ x A x } V^3 \text{ x Cp} \quad (watts)$

$$P_{turbine} = \frac{1}{2} \text{ x } 1.225 \text{ x } 0.52 \text{ x } 4.5^3 \text{ x } 0.217703$$

$P_{turbine} = 6.318451\ (w)$ و تعتبر قيمة هذه الاستطاعة قليلة و غير مجدية فعلياً.

- بالتعويض نستنتج قيمة الاستطاعة الفعلية للعنفة أيضا عند القيمة 9 m/s

الاستطاعة الفعلية $P_{turbine} = \frac{1}{2} \text{ x } \rho \text{ x A x } V^3 \text{ x Cp} \quad (watts)$

و من الاجراء نجد: $Cm(avg)=0.2875$ و منه نجد $C_p = C_m\ \lambda$ … **[24]** (3-14)

و هي قيمة Cp الفعلية من الاجراء: $Cp = 0.2875\ (1) = 0.2875$

و منه نجد: $P_{turbine} = \frac{1}{2} \text{ x } 1.225 \text{ x } 0.52 \text{ x } 9^3 \text{ x } 0.2875$

$$P_{turbine} = 70.84\ w$$

وبالتالي تعتبر قيمة جيدة عند السرعة 9 m/s

من معامل عزم الدوران Coefficient of moment: Cm **[24]**

$$C_m = \frac{M}{\frac{1}{2}\rho A R\, v^2} \quad \ldots\ldots \textbf{[24]}\ (13\text{-}3)$$

العزم $M = \frac{1}{2}\rho A R\, v^2\, Cm$

$$M = \frac{1}{2} \text{ x } 1.225 \text{ x } 0.52 \text{ x } 0.2 \text{ x } 4.5^2 \text{ x } 0.217703$$

$$M = 0.283 \ \text{N.m}$$

قاعدة توربين الرياح

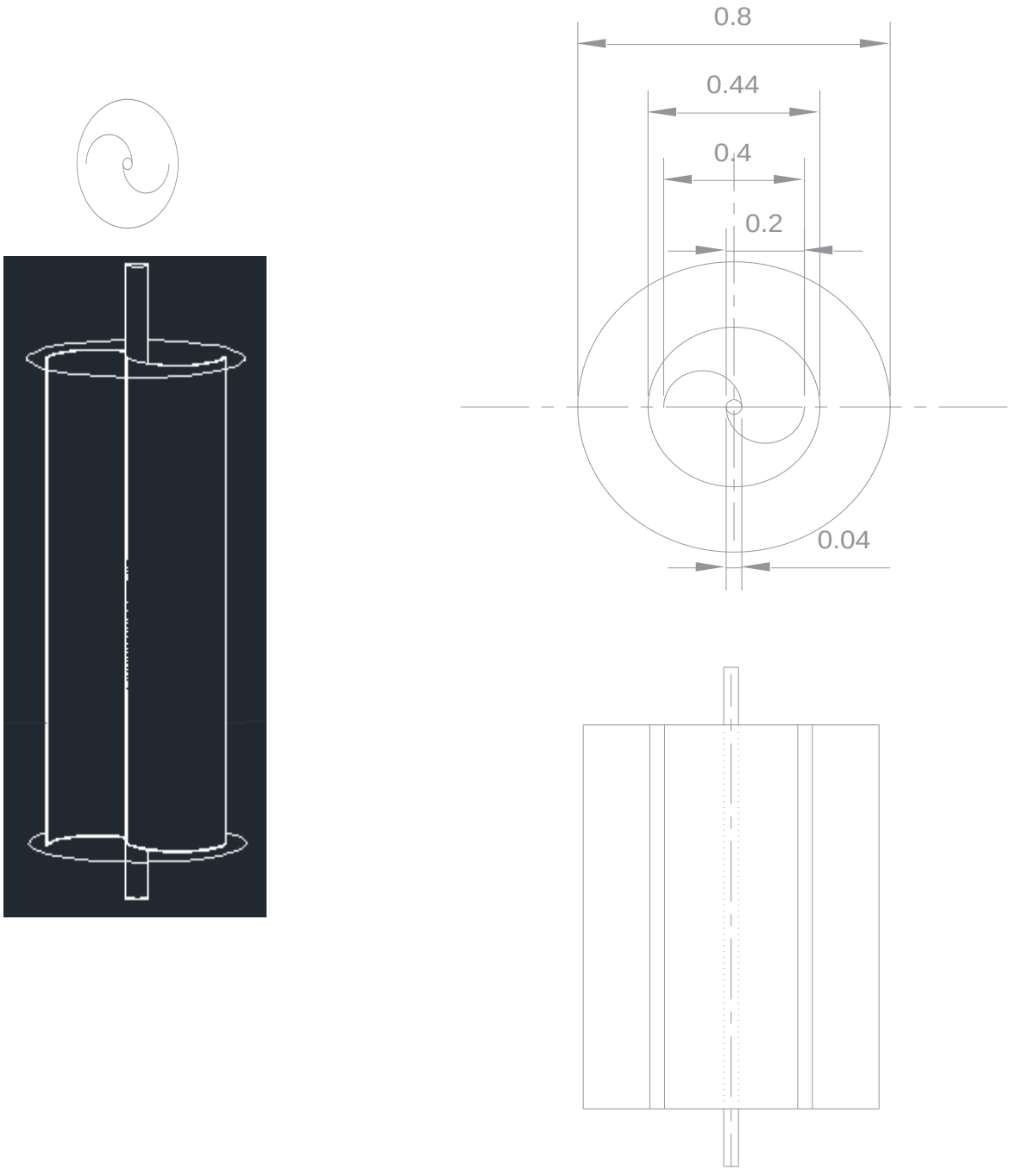
لبناء القاعدة، ممكن لحام قضبان فولاذية معتدلة معًا لتوفير الاستقرار للتصميم بأكمله.

حيث يمكن اعتماد ما يلي:

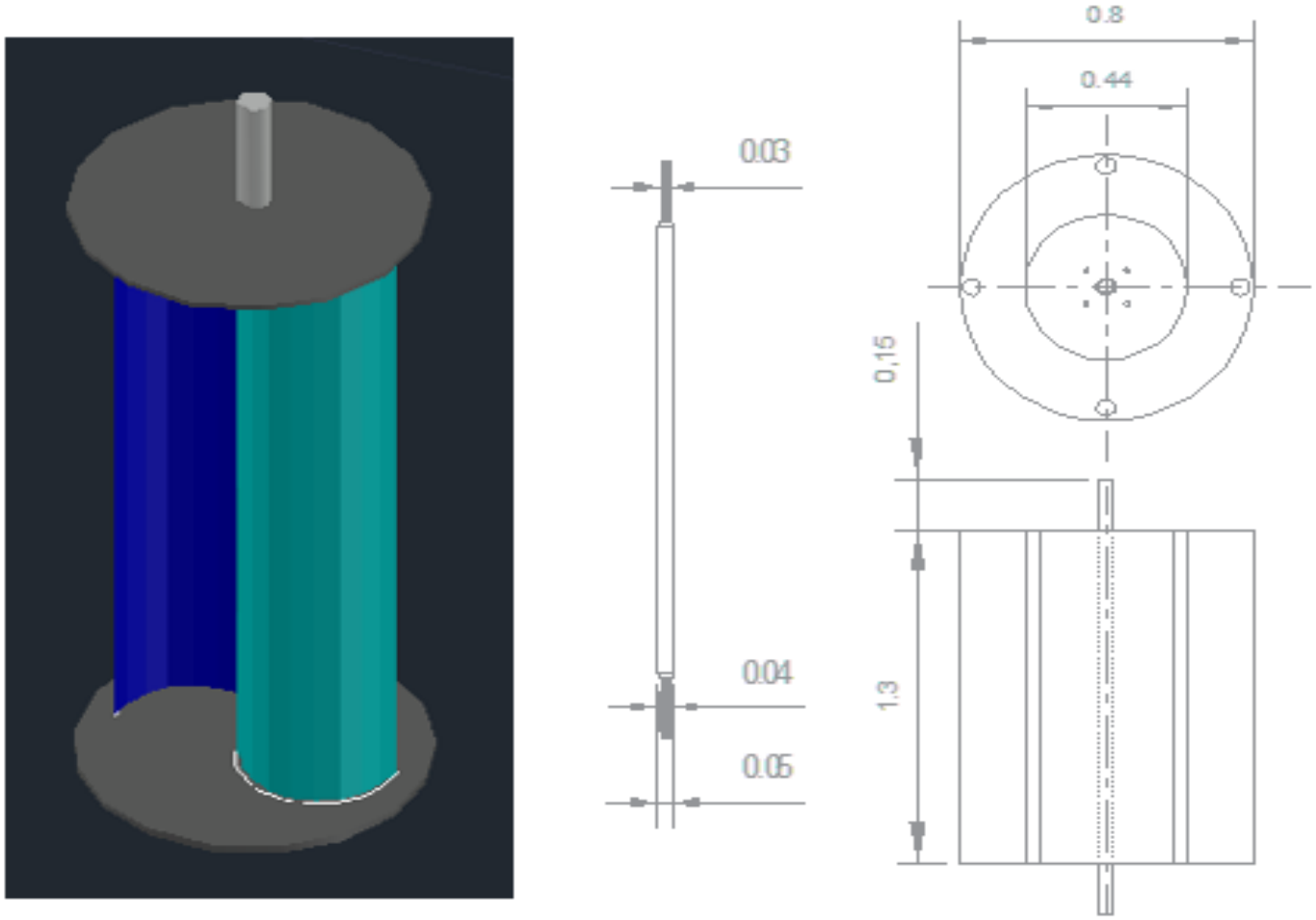
ارتفاع القاعدة 0.4 m

قطر القاعدة 0.6 m

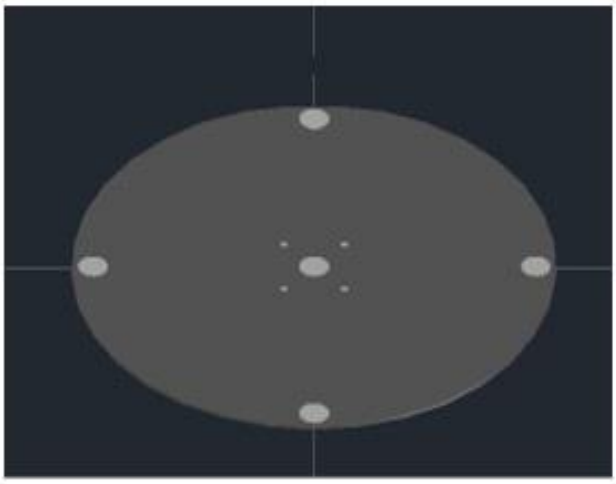
3-4-التصميم بمساعدة الحاسوب

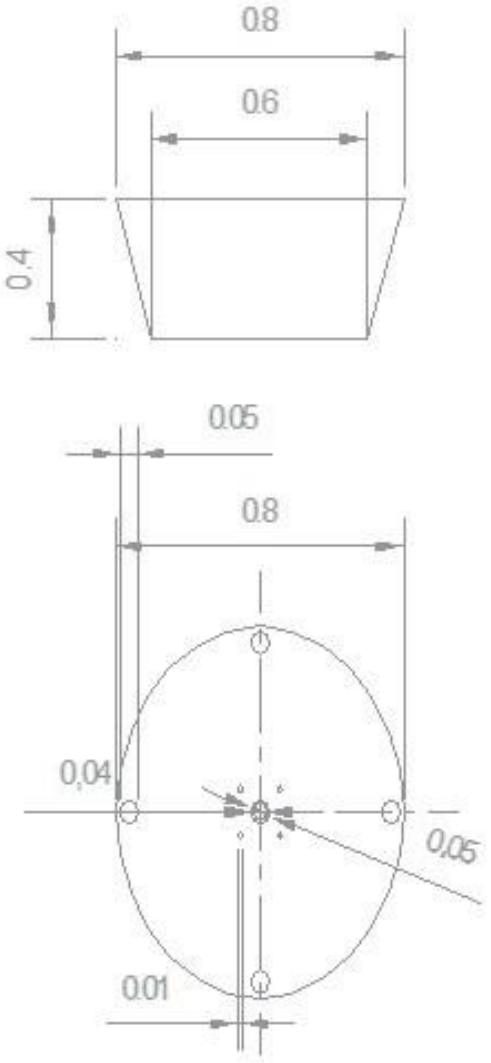


يبين الشكل (3-1): النموذج التصميمي لعنفة سافونيوس

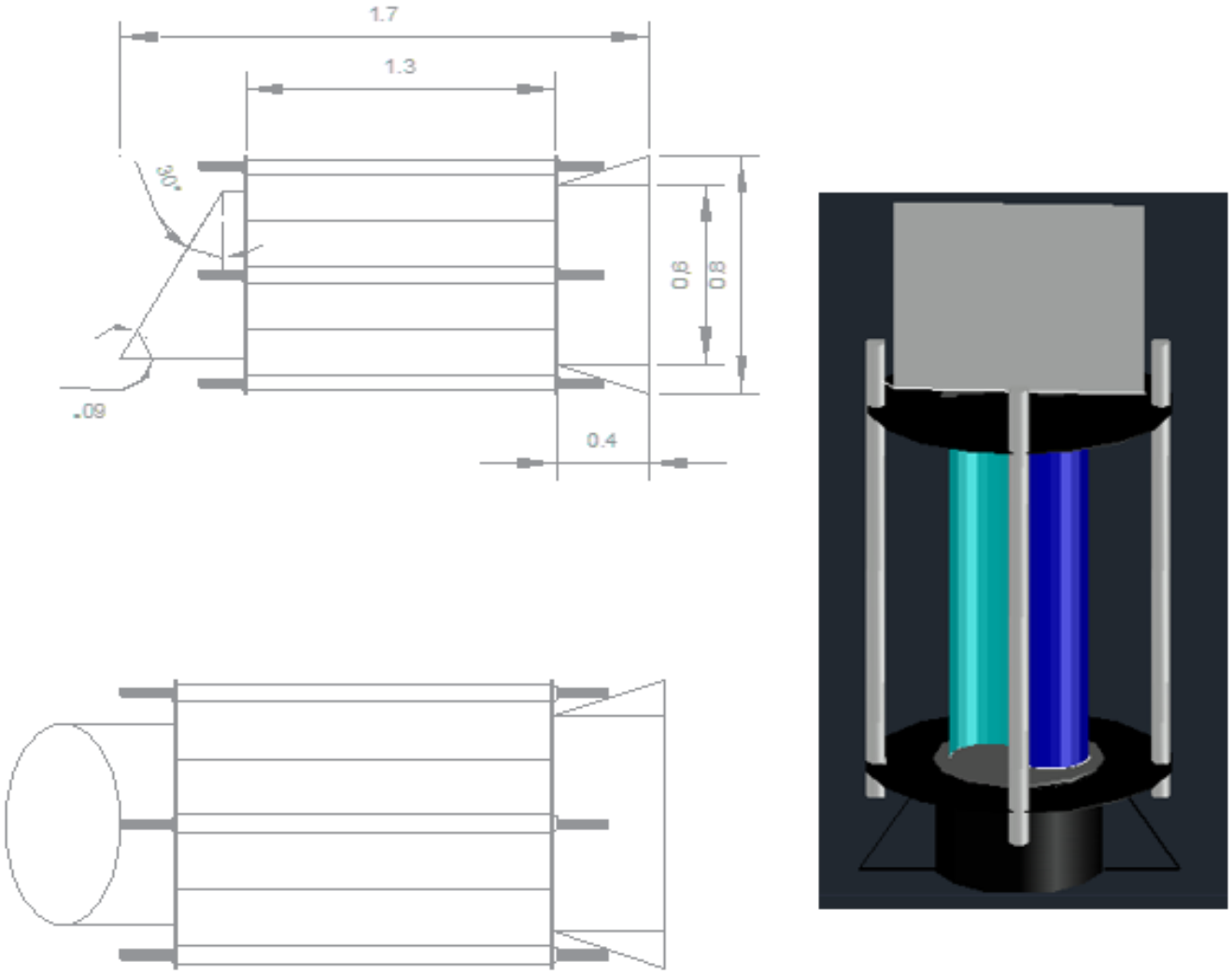


الشكل (3-3): يبين ابعاد عنفة سافونيوس وتصميم النموذج ثلاثي البعد





الشكل (3–4): يبين ابعاد قاعدة التوربين



الشكل (3–5): يبين النموذج الهجين(ريحي–شمسي) لعنفة سافونيوس

يبين الجدول التالي (3–1) بارامترات العنفة المقترحة للتصميم:

الجدول (3–1): يبين بارامترات العنفة المقترحة للتصميم

البارامترات	القيم
نوع النموذج	شفرة نصف دائرية
الارتفاع	**1.3 m**
قطر العنفة	**0.4 m**
قطر الشفرة الواحدة	**0.2 m**
المساحة	**0.52 m^2**
سماكة الشفرة	**2 mm**
قطر عمود الدوران	**0.04 m**
زاوية الشفرة	**180°**
نسبة الارتفاع الى العرض	**3.3**
نسبة التداخل	**0.1**
عدد المراحل	**1**
عدد الشفرات	**2**

الجدول (3–2): يبين أبعاد القاعدة

البارامتر	القيم
ارتفاع القاعدة	**0.4 m**
قطر القاعدة	**0.6 m**

3-5-الحسابات التصميمية للنظام الشمسي

يمكن اتباع الخطوات البسيطة التالية عند تصميم انارة الشوارع [25]:

تحديد أقصى قدرة للكشافات الليد

قدرات كشافات الليد المتاحة في الأسواق تصل الي 100 وات و لكن في الأماكن البعيدة عن خط الاستواء حيث السطوع الشمسي ضعيف ليس من المنطقي او العملي استخدام هذه الكشافات الكبيرة.

فمثلا لو تم استخدام كشاف بقدرة 100 وات في مدينة لندن سوف نجد ان قدرة الخلايا المطلوبة لكل عامود قد تصل الي 1000 وات و هو امر غير منطقي و غير عملي.

لذلك كلما ابتعدنا عن خط الاستواء يتم استخدام وحدات اضاءة اقل حجما مع وضعها علي مسافات متقاربة لتحقيق شدة الانارة المطلوبة في الطريق.

و يتم ذلك طبقا للمعادلة الأتية:

- بالنسبة للمناطق الواقعة بين خط الاستواء وخط عرض 25
  أقصى قدرة للكشافات = 100 وات
- المناطق الواقعة بين خط عرض 25 و 50
  اقصي قدرة للكشاف = 175- (خط العرض*3)
- اما بالنسبة للمناطق الواقعة فوق خط عرض 50
  اقصي قدرة للكشاف= 35- (خط العرض*0.2)

- مدينة دمشق تقع على خط عرض 33.51 : [26]

أقصى قدرة للكشاف = 175- (خط العرض*3)

(3*33.51) -175 = 74.5 W

(ولأغراض مطابقة الحسابات من الاحجام المتوفرة في الأسواق يتم استخدام كشافات 80 وات)

وبالتالي الحسابات التصميمية للمنظومة الشمسية باتباع الخطوات التالية:

3-5-1- الخطوة الأولى: حساب الحمل الكهربائي

تتم عملية حساب الاحمال باستخدام المعادلة التالية

الحمل الكهربائي = قدرة الحمل × العدد × عدد ساعات التشغيل ..(15-3)

لنفرض ان الإضاءة تكون في حوالي 10 ساعات:

يبين الجدول التالي (3-3): جدول الحمل الكهربائي

الحمل الكهربائي	قدرة الحمل	العدد	عدد ساعات التشغيل
وحدات إنارة	80W	1	10ساعات

وبالتالي نعوض في العلاقة للحصول على القدرة التي يستهلكها الأحمال الكهربائية في اليوم الواحد: $80\times1\times10= 800\ Wh/day$

3-5-2-الخطوة الثانية: حساب عدد الألواح الشمسية

حيث تعتمد عملية الحساب على قيمة معدل الإشعاع الشمسي اليومي، حيث نحسب طاقة الالواح الشمسية من العلاقة:

$$\text{طاقة الألواح الشمسية المطلوبة} = \frac{\text{المجموع الكلي للطاقة المستهلكة باليوم}}{\text{معدل الاشعاع الشمسي}} \quad \ldots(16-3)$$

- معدل الإشعاع الشمسي[27] :

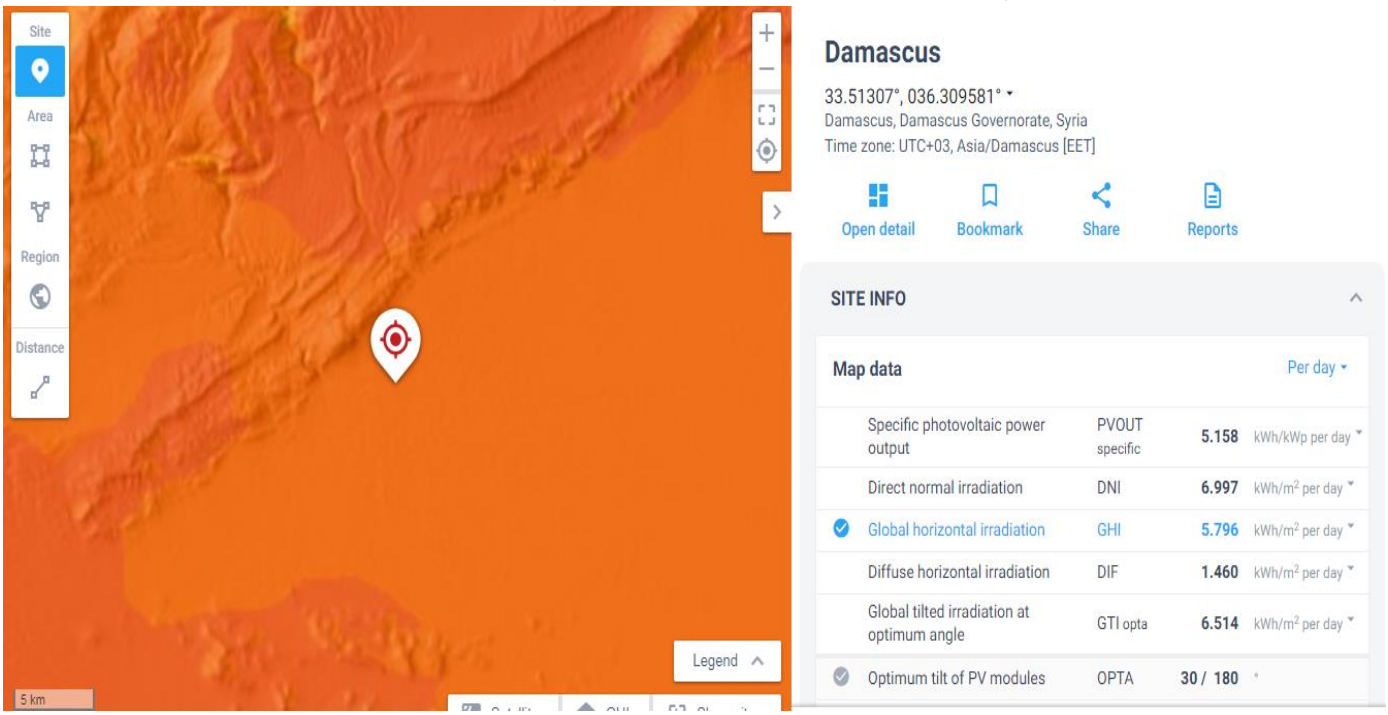
قد تختلف قيمة معدل الإشعاع الشمسي من موقع لموقع آخر حسب البيئة وساعات وجود الشمس خلال فترة النهار، كما نعلم أن منطقة الشرق الأوسط تعتبر المركزية في وجود الإشعاع الشمسي، وزيادة شدته في الدول العربية على وجه الخصوص.

لذلك لا بد من استخدام كافة الوسائل المتاحة للاستغلال الأمثل لأشعة الشمس الساقطة على سطح الأرض، والاستفادة منها في توليد الطاقة الكهربائية المستدامة والنظيفة والمجانية.

كيفية تحديد معدل الإشعاع الشمسي:

هناك العديد من التطبيقات والبرامج التي تحدد لنا قيمة معدل الإشعاع الشمسي اليومي والسنوي، حيث يمكننا من خلال موقع "global solar atlas" من تحديد كمية الإشعاع الشمسي الساقط

على الموقع خلال اليوم أو السنة، وقيمة معدل الإشعاع الشمسي تختلف من منطقة لمنطقة أخرى، و من خلال الموقع في الشكل(3–6) تكون معدل الاشعاع الشمسي في دمشق (5.796).



الشكل (3–6): يبين معدل الاشعاع الشمسي في دمشق

وبالتالي تكون طاقة الألواح الشمسية المطلوبة:

$$\text{طاقة الألواح الشمسية المطلوبة} = \frac{800}{5.796} = 138.03\ \text{W}$$

مع إضافة نسبة 30% بسبب كفاءة اللوح الشمسي والفقد في الكوابل الكهربائية وكفاءة الانفرتر عند تحول الطاقة من تيار مستمر لتيار متردد فإن:

طاقة الألواح الكلية = الطاقة الكهربائية المطلوب× 1.3 .....(17–3)

طاقة الألواح الكلية =138.03 × 1.3 = 179.439 W .....(18–3)

في هذه الحالة لنفرض أننا نريد استعمال ألواح شمسية بقدرة 200 واط.

$$\textbf{عدد الألواح المطلوب} = \frac{\text{طاقة الالواح الكلية}}{\text{قدرة اللوح الواحد}} \quad \ldots\ldots(3\text{-}19)$$

$$\textbf{عدد الألواح المطلوب} = \frac{179.439}{200} = 0.89 \approx 1 \textbf{ لوح واحد.}$$

3-5-3-الخطوة الثالثة: حساب عدد البطاريات المطلوبة [28]

والآن سوف نحدد ما سعة البطاريات الكهربائية المطلوبة لتوفير هذه الطاقة مع مراعاة التالي:

- عدد أيام الغيوم.
- عمق التفريغ(DOD) .
- كفاءة البطاريات.
- جهد النظام الشمسي.

$$\text{سعة البطاريات الكهربائية} = \frac{\text{الطاقة المنتجة من الألواح الشمسية} \times \text{عدد أيام الغيوم}}{\text{عمق التفريغ } DOD \times \text{فولتية النظام الشمسي} \times \text{كفاءة البطاريات}} \quad \ldots(3\text{-}20)$$

ويبين الجدول التالي (3-4): قدرة الاحمال

الجدول (3-4): يبين قدرة الاحمال.

قدرة الأحمال	جهد النظام
حتى 1 كيلو واط	12 فولت
من 1 كيلو حتى 2 كيلو	24 فولت
من 2 كيلو فما فوق	48 فولت

3-5-3-1-خطوات حساب عدد البطاريات الكهربائية

أولاً: تحديد كمية الطاقة المراد استهلاكها.

ثانياً: تحديد عمق تفريغ البطاريات: إذا كانت البطاريات من نوع الليثيوم المتطور فيمكنك الحساب على عمق تفريغ 80% إلى 90%، أما البطاريات الرخيصة الثمن كبطاريات الجل

وال AGM سوف نحسب عمق التفريغ على أساس 50%، يفضل أن يكون نوع البطارية من نوع جل أو بطاريات بمواصفات ذات التفريغ العميق.

ثالثاً: تحديد عدد الأيام الاحتياطية (أيام الغيوم): في الغالب نضع الرقم 1، ولكن هذه الخطوة مفيدة للدول الأوروبية التي قد تغيب فيها الشمس ليومين أو أكثر.

رابعاً: كفاءة البطارية: يمكنك وضع كفاءة البطارية بنسبة 80% كأدنى حد أو 70%كأقصى حد لتعويض كفاءة البطاريات من درجات الحرارة المتغيرة وكذلك الكابلات وغير ذلك، ولا ننسى أن درجة الحرارة المنخفضة تقلل من سعة البطارية بنسبة تصل إلى 30% عند درجة حرارة صفر.

سعة البطاريات الكهربائية = $\frac{1\times800}{12\times0.8\times0.5}$ = 166.66 Ah .....(21-3)

مع فرض أن سعة البطارية المتوفرة 12 فولت/ 175 أمبير ساعة فإن:

فإن عدد البطاريات = $\frac{\mathbf{166.66}}{\mathbf{175}}$ = $\mathbf{0.952 \approx 1}$

وبالتالي الطاقة المراد تخزينه في البطاريات = التيار الكلي × الجهد الكلي للبطاريات

$$175 \times 12 = 2100 \text{ W}$$

إذاً هذه الطاقة التي توفرها البطاريات لتشغيل الأحمال بعد شحنها بالكامل.

مواصفات اللوحة الشمسية[29] :

ويوضح الجدول (3–5) مواصفات اللوحة الشمسية المعتمدة

الجدول (3–5): يبين مواصفات اللوحة الشمسية المعتمدة

Raw Materials And Mechanical Parameters	
Cell Type	Polycrystalline
Number Of Cells	72
Dimensions(mm)(L*W*H)	1320×992×35
Weight(kg)	14.9
Glass	3.2mmTempered Glass
Encapsulation	EVA
Backsheet	Multilayer Composite
Aluminium-Frame	Silvery/Black Anodized aluminium alloy
Junction-Box	IP65/IP67
Cable	4mm2,900mm
Connector	MC4 and MC4 Compatible
Package Configuration	30pcs/pallet
Performance Parameters	
Maximum System Voltage	1000V
Operating Temperature	-45℃~+80℃
Maximum Series Fuse	10A
Maximum Static Load,Front Side (e.x. Snow,Wind)	5400PA
Maximum Static Load, Back Side(e.x. Wind)	2400PA
Application Grade	Class A
Electrical Parameters	
Rated Maximum Power(Mp)	200W
Power Tolerance	0W~+5W
Cell Efficiency	20.5%
Open Circuit Voltage(Voc)	45.2V
Maximum Power Voltage(Vmp)	36.2V
Short Circuit Current(Isc)	5.86A
Maximum Power Current(Imp)	5.52A
Temperature Coefficient of Isc	+0.06%
Temperature Coefficient of Voc	-0.33%
Temperature Coefficient of Pmp	-0.45%
Standard Test Condition	Irradiance:1000W/M2,Cell Temperature:25℃,Spectrum AM:1.5

3-5-4-الخطوة الرابعة: حساب منظم الشحن المناسب

تعتمد عملية اختيار منظم الشحن بناءً على قدرة الألواح الشمسية، حيث قمنا بإيجاد عدد الألواح الشمسية المطلوب وهي لوح بقدرة 200 W للوح الواحد، وجهده 45.2 V، وتياره 5.86 A.

جهد المنظم = جهد اللوح الشمسي (Voc) × عدد الألواح الموصولة .....(3-22)

$$45.2 \times 1 = 45.2\ V$$

تيار المنظم = تيار اللوح الشمسي (Isc) ×عدد الألواح الموصولة .....(3-23)

$$5.86 \times 1 = 5.86\ A$$

إذاً مواصفات منظم الشحن المناسب للنظام هو 10 A بشرط أن يتحمل فولتية لا تقل عن 50V، وذلك لان الناتج الفولت الذي ظهر لنا 45.2 V.

3-5-5-الخطوة الخامسة: اختيار الانفرتر المناسب

حتى نستطيع معرفة استطاعة الانفرتر الأنسب لتشغيل الأحمال، يجب أن نجمع استطاعة جميع الأجهزة الكهربائية المراد تشغيله في الساعة الواحدة كالتالي وبما ان لدينا حمل الانارة فقط يكون:

قدرة الأحمال في الساعة = حمل الإنارة × العدد .....(3-24)

$$80 \times 1 = 80\ W$$

وبسبب فقد الانفرتر نتيجة التحويل من تيار مستمر الى تيار متردد نضرب بالعامل 1.3 كعامل مردود كفاءة فتصبح **قدرة الانفرتر المطلوب:**

$$80 \times 1.3 = 104\ W$$

إذاً استطاعة الانفرتر المناسب 100 واط أو أكثر.

ويوضح الجدول (3-6) مكونات النظام الشمسي

الجدول (3-6): يبين مكونات النظام الشمسي:

قدرة اللوح الشمسي الواحد	200 W
عدد الألواح الشمسية	1 لوح
عدد البطاريات	1
سعة البطارية الواحدة	175 A
قدرة الانفرتر	100 W أو أكثر
منظم الشحن	10A / 12V

الفصل الرابع

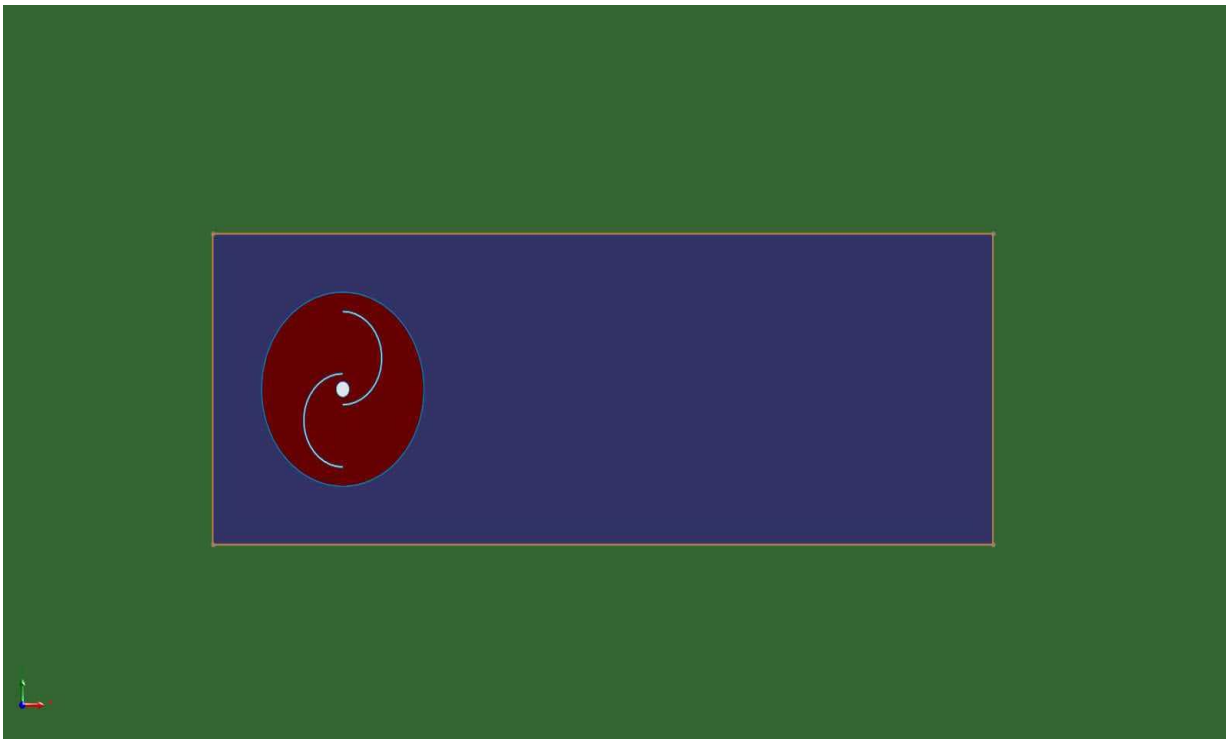
الدراسة الحاسوبية لعنفة سافونيوس (CFD)

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS SIMULATION

الفصل الرابع: الدراسة الحاسوبية لعنفة سافونيوس (CFD) COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS SIMULATION

4-1- محاكاة ديناميك الموائع الحاسوبية:

يتم استخدام ديناميك الموائع الحاسوبية بمساعدة برنامج انسيس للإشارة إلى الحل العددي للمعادلات التفاضلية حيث في أبحاث الديناميكا الهوائية، يتم استخدام هذه التقنية على نطاق واسع ولها أهمية كبيرة لدراسة الآلات التوربينية حيث باستخدام برنامجANSYS ، يمكننا التحقق من سلوك تدفق الرياح عبر شفرات التوربين. سيتم تطبيق دراسة CFD ثنائية الأبعاد باستخدام برنامج ANSYS، والذي سيتم اقتراح النموذج كما هو موضح في الشكل (4-1) باستخدام Solidworks. نحصل من خلال النمذجة على قيمة C_m الوسطية للحصول من خلالها على معامل الأداء الفعلي: $C_p = C_m \lambda$ .....[30]

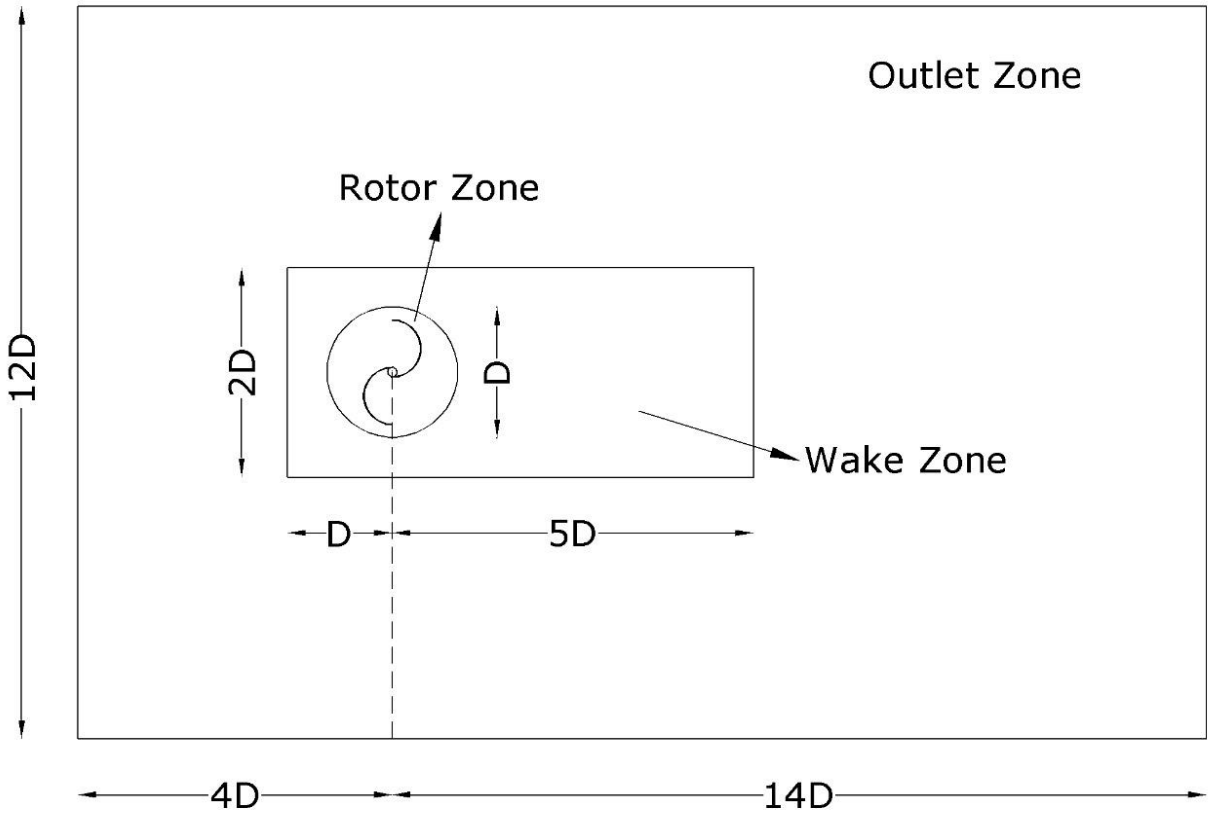


الشكل (4-1): يبين النموذج المقترح لعنفة سافونيوس

4-2- وصف الشبكة (Mesh Description):

تعتبر جودة الشبكة هي البارامتر الأساسية لتحقيق مستوى دقة عالي فيما يتعلق بالنتائج التي تم الحصول عليها. ومع ذلك، فإن الزيادة المفرطة في كثافة الشبكة من شأنها أن تؤدي إلى تقليل كفاءة المحاكاة بسبب زيادة تعقيد الدراسة واستهلاك المزيد من الوقت. ومن ثم، يعد تحسين كثافة الشبكة أمراً حيوياً لضمان تحقيق كفاءة محاكاة عالية ونتائج دقيقة.

لتلبية معايير الاقتراح الأخير، تم اتخاذ القرار لتغيير كثافة الشبكة وفقاً للمناطق المثيرة للاهتمام. بمعنى آخر، تم التخطيط لتعظيم كثافة الشبكة في هذه المنطقة القريبة من الشفرات بالإضافة إلى تقليلها بعيداً عنها [31] .ويعرض الشكل (4-2) مجال السوائل الحسابية للدراسة.



الشكل (4-2): يبين تمثيل تخطيطي لمجال السوائل الحسابية للدراسة المقترحة.

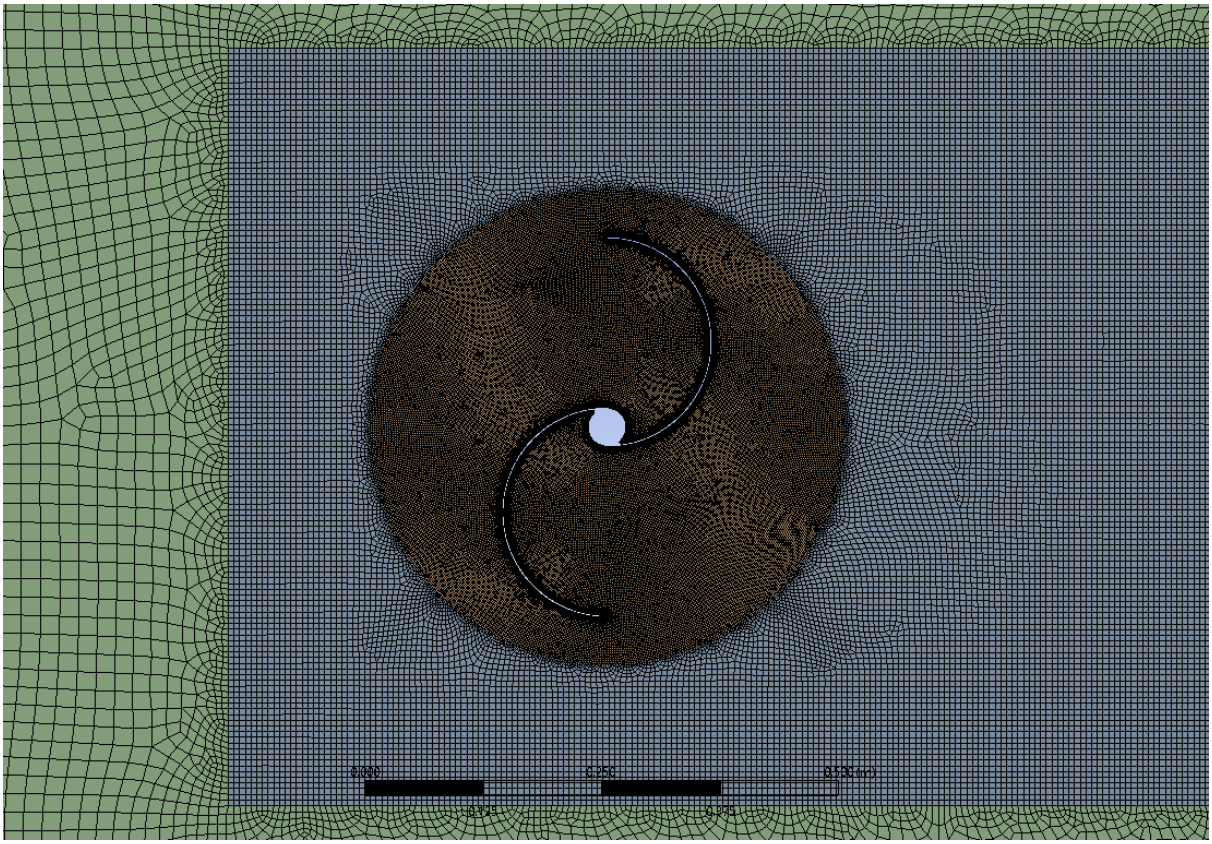
ويوضح الجدول (4-1): دراسة استقلالية حجم الشبكة تم أخذها في الاعتبار في البحث المقترح.

الجدول (4–1): يبين دراسة استقلالية حجم الشبكة للتوربينات المحاكاة

Turbine	TSR	Number of cells	Mesh Density
Savonius شبه دائرية	1	230,000 384,000 532,000 734,000	Coarse Medium Fine Very Fine

أظهر تحليل جودة الشبكة جودة مرضية للانحراف متساوي الحجم مع متوسط نسبة انحراف الخلية يساوي 0.06.

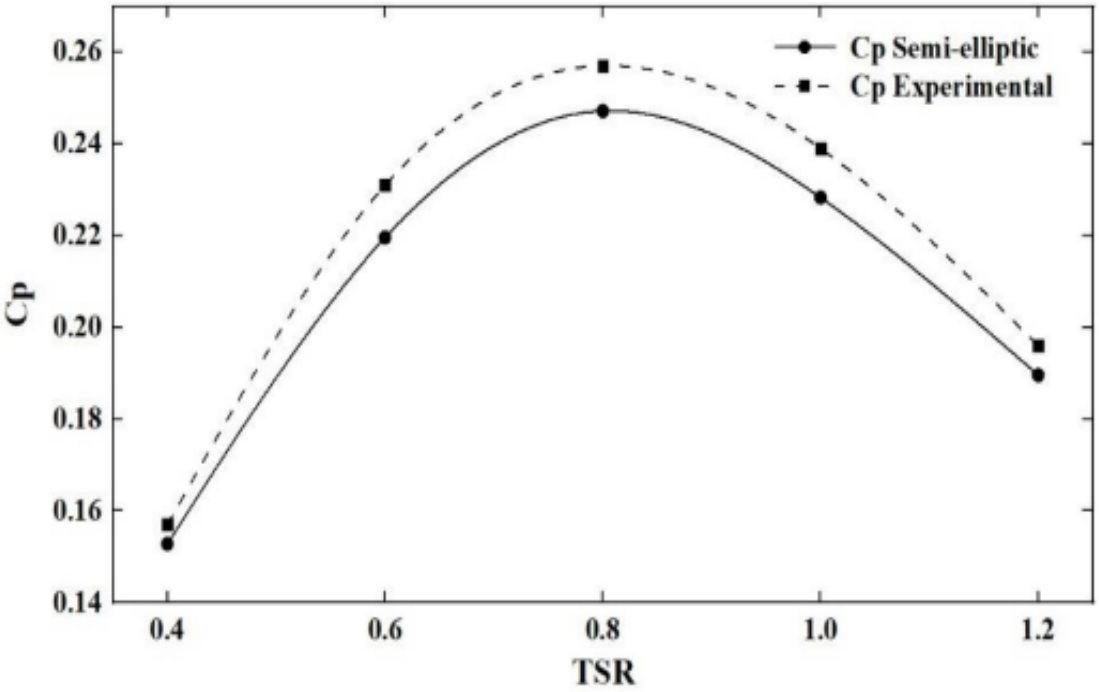
وللحصول على رؤية عامة، يوضح الشكل التالي (4–3) هيكل الشبكة حول توربين سافونيوس.



الشكل (4–3): يبين mesh لشفرة سافونيوس

4-3-التحقق من صحة النموذج (Model Validation):

تمت مقارنة متوسط معامل القدرة ضد TSR لـ Savoniusشبه الإهليلي مع البيانات الحاسوبية لـ Tian et al [32] . يمتلك السافونيوس شبه الإهليلي في هذه المقارنة نفس البارامترات الحاسوبية مع امتلاء الشفرة n = 1. كما هو مبين في الشكل (4-4). كانت أكبر قيمة للخطأ في توربينات الرياح سافونيوس هي 4٪، وكان الحل العددي سافونيوس شبه الإهليلي الذي يحتوي على 264000 عنصر لديه القدرة الكافية على التنبؤ بالبيانات الحاسوبية.

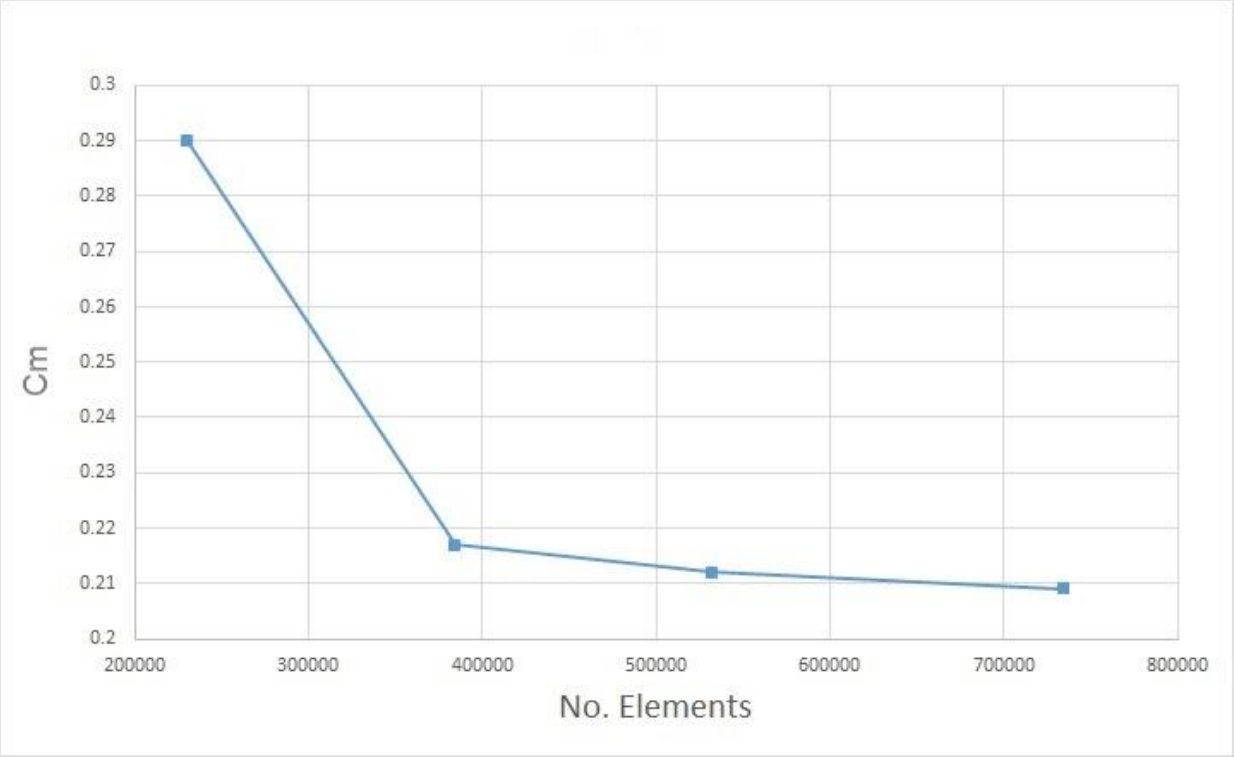


الشكل (4-4): مقارنة البيانات الحاسوبية ونتائج النموذج العددي الحالي تيان وآخرون.

4-4-استقلال الشبكة (Mesh Independence):

عندما يتم تنفيذها باستخدام شبكة صغيرة، غالباً ما تكون النتائج الرقمية صحيحة ولكنها غالباً ما تكون مكلفة من الناحية الحسابية. لتقليل الوقت مع الحفاظ على دقة النتائج، كان اختبار استقلال الشبكة إجراء ضرورياً [33]. **يتضمن اختبار استقلال الشبكة الخاص بالدراسة الحالية** مقارنة Cm لدوار سافونيوس مع زاوية الدوران للخلايا الرباعية ذات كثافات شبكية خشنة ومتوسطة ودقيقة ودقيقة جداً.

كما هو موضح في الشكل (4-5)، كشفت البيانات المكتسبة عن وجود تناقض بسيط جداً بين قيم الشبكة المتوسطة والدقيقة جداً (لم تتجاوز نسبة الخطأ 5٪). نظراً لأن الشبكة المتوسطة أظهرت أنها تتوقع أداء الدوار بدقة، فقد تم اختيارها لتشغيل عمليات المحاكاة المتبقية من أجل توفير تكاليف الحوسبة والوقت.



الشكل (4-5): يبين دراسة استقلالية شبكة توربينات سافونيوس شبه الدائرية عند TSR=1

ووفق الاجراء التجريبي(الفعلي) بالمحاكاة نستنتج استطاعة العنفة الفعلية من العلاقة:

مع الأخذ بعين الاعتبار في المحاكاة

TSR= λ =1 و عند السرعة 4.5 m/s ونحصل من خلال النمذجة على قيمة C_m الوسطية للحصول من خلالها على معامل الأداء الفعلي:

$$C_p = C_m \lambda$$

$$C_m \text{ (avg)} = 0.217703$$

و هي قيمة Cp الفعلية $Cp = 0.217703 (1) = 0.217703$

بالتعويض نستنتج قيمة الاستطاعة الفعلية للعنفة عند قيمة C_p الفعلية :

الاستطاعة الفعلية $P_{turbine} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3 \times Cp$ (watts)

$$P_{turbine} = \frac{1}{2} \times 1.225 \times 0.52 \times 4.5^3 \times 0.217703$$

$$P_{turbine} = 6.318451 \quad \text{(watts)}$$

وتعتبر قيمة هذه الاستطاعة قليلة وغير مجدية فعلياً.

وعند السرعة 9 m/s ونحصل من خلال النمذجة على قيمة C_m الوسطية للحصول من خلالها على معامل الأداء الفعلي:

$$C_p = C_m \lambda$$

$$C_m \text{ (avg)} = 0.2875$$

و هي قيمة Cp الفعلية $Cp = 0.2875 (1) = 0.2875$

بالتعويض نستنتج قيمة الاستطاعة الفعلية للعنفة عند قيمة C_p الفعلية :

الاستطاعة الفعلية $P_{turbine} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3 \times Cp$ (watts)

$$P_{turbine} = \frac{1}{2} \times 1.225 \times 0.52 \times 9^3 \times 0.2875$$

$$P_{turbine} = 70.84 \text{ w}$$

4-5-مجال الحساب وشروط الحدود (Computation domain and boundary conditions)

بهدف أن تكون قادراً على تصور التدفق الأولي وتكوين التنبيه النهائي، تم التخطيط لتحديد حجم مجال الحساب. تم التخطيط لضبط المجال ليكون طوله 18 D وعرضه 12 D [32]، تم وضع الدوار في منتصف المسافة بين الحدود العلوية والسفلية، على مسافة 6D من حدود المدخل كما هو موضح في الشكل(4-2).

وبهدف تسهيل محاكاة المعدات الدوارة، تم اتخاذ القرار بتقسيم المجال إلى ثلاثة اقسام فرعية، والتي تم وصفها على النحو التالي:

أ. يخضع المجال الفرعي الأول للدوار (المحيط بالتوربين rotor zone)

ب. يخضع المجال الفرعي الثاني (wake zone)

ج. المجال الثابت (خارج المجال الثاني outlet zone).

ومن ناحية أخرى، تم اتخاذ القرار بافتراض قيمتين لسرعة الرياح (4.5–9)م/ث بينما افترضت شدة الاضطراب 5% (على اليسار). كان من المفترض أن تكون حالة المخرج عبارة عن ضغط جوي نسبي قدره صفر باسكال (على اليمين). تم أيضاً أخذ الحالة المتماثلة بين الحدود العلوية والسفلية في الاعتبار. بالإضافة إلى ذلك، تم تعديل حالة الجدار المضاد للانزلاق للدوارات.

وأخيرا، تم تطبيق الواجهات بين المجالات الفرعية الثلاثة.

تم استخدام برنامج ANSYS Fluent في حل دراسة محاكاة CFD المقترحة والتي يمكنها حل دراسات التدفق المعقدة باستخدام طريقة الحجم المحدود (FVM). لوصف دراسة الحالة المقترحة رياضيا، يستخدم ANSYS معادلة Navier–Stokes. ونظراً لسرعات الدوران العالية المتوقعة لـ VAWT، فمن الضروري تنشيط أداة تحليل Navier–Stokes غير المستقرة الموجودة في البرنامج المستخدم. وهذا من شأنه أن يساعد في تحديد العلاقة بين كل من السرعة والضغط وفقا للبيانات التي اقترحها [34].
تقرر استخدام نموذج الاضطراب k–ω SST لحل دراسة الحالة المقترحة. من المتوقع أن يوفر نموذج الحل المحدد موثوقية عالية فيما يتعلق بالتنبؤ بسلوك الرياح حول VAWT. استند قرار اختيار نموذج الاضطراب k–ω SST إلى الدراسات التي تم تطبيقها بواسطة [35]، [36]، الذي تنبأ بذلك؛ يمكن للنموذج المحدد تحقيق دقة أعلى بنسبة 10٪ تقريباً مقارنة بالنموذج k – ε.
يحتوي نموذج k–ω على معادلتين للنقل، يتم عرضهما على النحو التالي [37]؛

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k\overline{u_i})}{\partial x_i} = \frac{\partial(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j})}{\partial x_j} + G_k - Y_k + S_k$$

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\omega\overline{u_i})}{\partial x_i} = \frac{\partial(\Gamma_w \frac{\partial\omega}{\partial x_j})}{\partial x_j} + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega$$

بهدف تعزيز دقة الدراسة المقترحة، تم ربط معادلات الضغط والسرعة باستخدام الطريقة شبه الضمنية للمعادلات المرتبطة بالضغط(SIMPLE) ، ويبين الجدول (4–2) وصف تفصيلي لبارامترات تحليلات عقود الفروقاتCFD ، ومن أجل نمذجة الدوران بشكل دقيق وكذلك تمثيل المدة القصيرة للاضطراب، يجب أن تكون المرحلة الزمنية صغيرة للغاية، خاصة عند سرعات الدوران العالية وسرعات الرياح العالية. بالإضافة إلى ذلك، تؤثر الخطوة الزمنية على التكرار العددي للحل، مما يعني أن الخطوة الزمنية الكبيرة جداً ستوفر حلولاً غير مادية حقاً، في حين أن

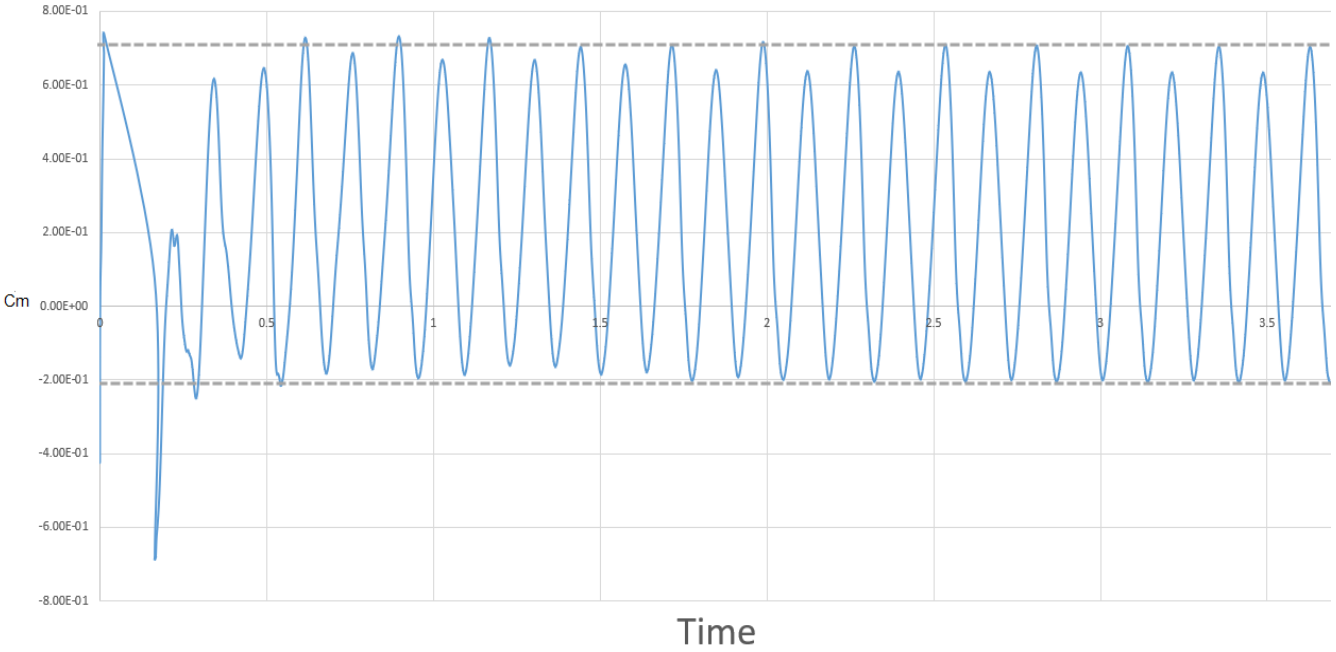
الخطوة الزمنية الصغيرة جداً قد تؤدي إلى زيادة كبيرة في وقت الحوسبة، تم حساب الخطوة الزمنية النسبية، [30] على النحو التالي:

$$\Delta t = \frac{1}{6 \times \omega}$$

يبين الجدول (4−2) : وصف تفصيلي لبارامترات تحليل الفروقات الحاصلة في العقد CFD

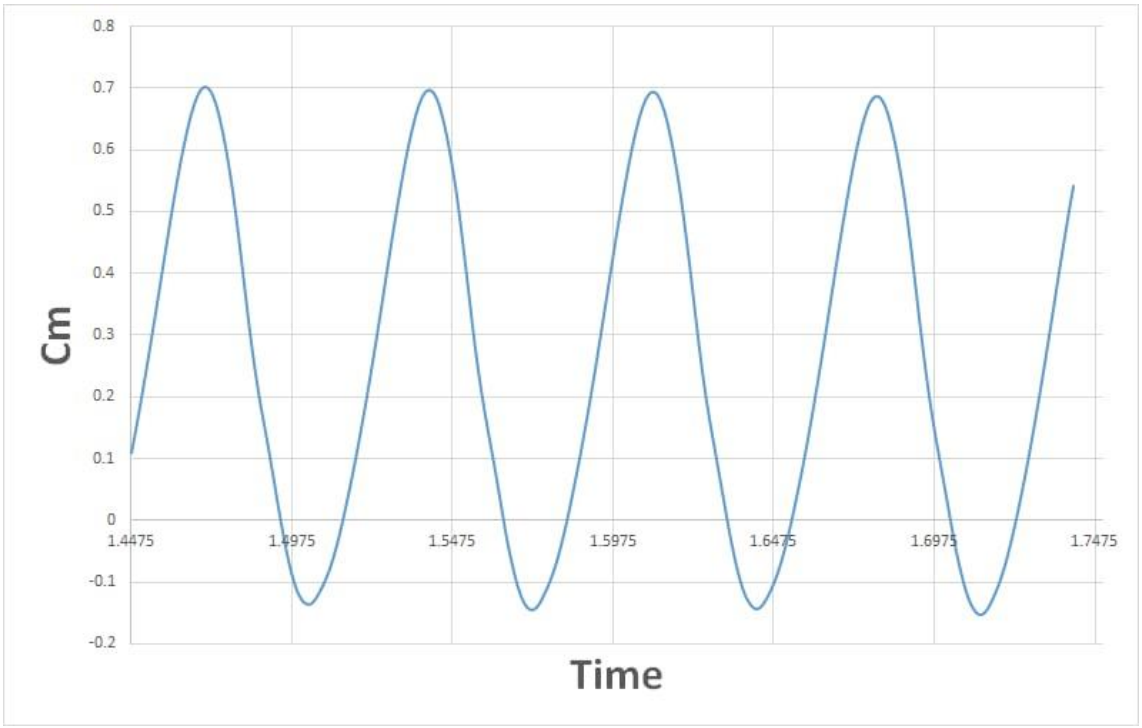
Parameter	Value	Unit
مدخل السرعة	4.5 9	m/s
ظروف الجدار	No-slip عدم الانزلاق	
كثافة التدفق	1.225	Kg/m3
نسبة اللزوجة الاضطرابية	10	
شدة الاضطراب	5%	
نموذج اللزوجة	k-ω SST	
مخطط التقديرية	Second-order	
خوارزمية اقتران سرعة الضغط	SIMPLE method	
نموذج التناوب	Sliding Mesh Model (SMM)	

و يوضح الشكل (4−6) تقارب معامل العزم المتوسط Cm عند قيمة TSR=1 لتوربين سافونيوس عند السرعة 4.5 m/s.



الشكل (4–6): يبين منحني معامل العزم Cm المتوسطة عند قيمة TSR =1 لتوربين سافونيوس عند السرعة 4.5 m/s

و يوضح الشكل (4–7) تقارب معامل العزم المتوسط Cm عند قيمة TSR=1 لتوربين سافونيوس عند السرعة 9 m/s.



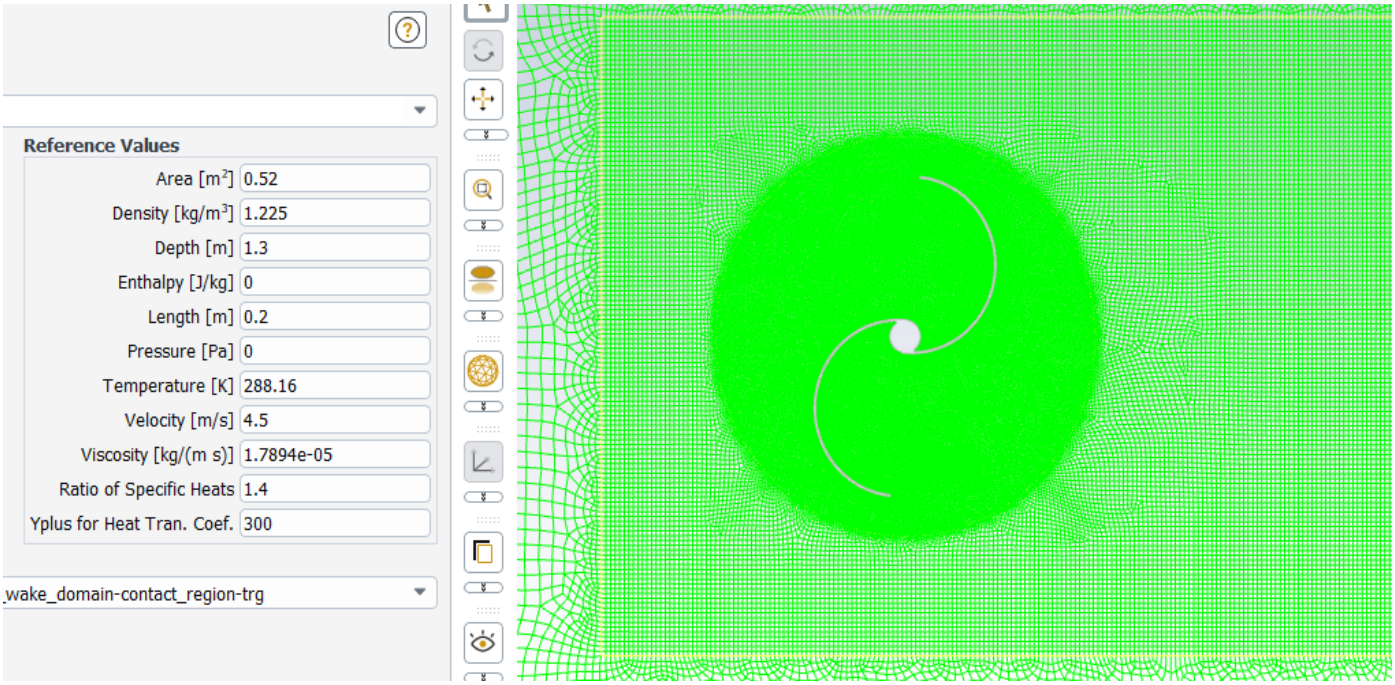
الشكل (4–7): يبين منحني معامل العزم Cm المتوسطة عند قيمة TSR =1 لتوربين سافونيوس عند السرعة 9 m/s

الفصل الخامس

النتائج والمناقشة

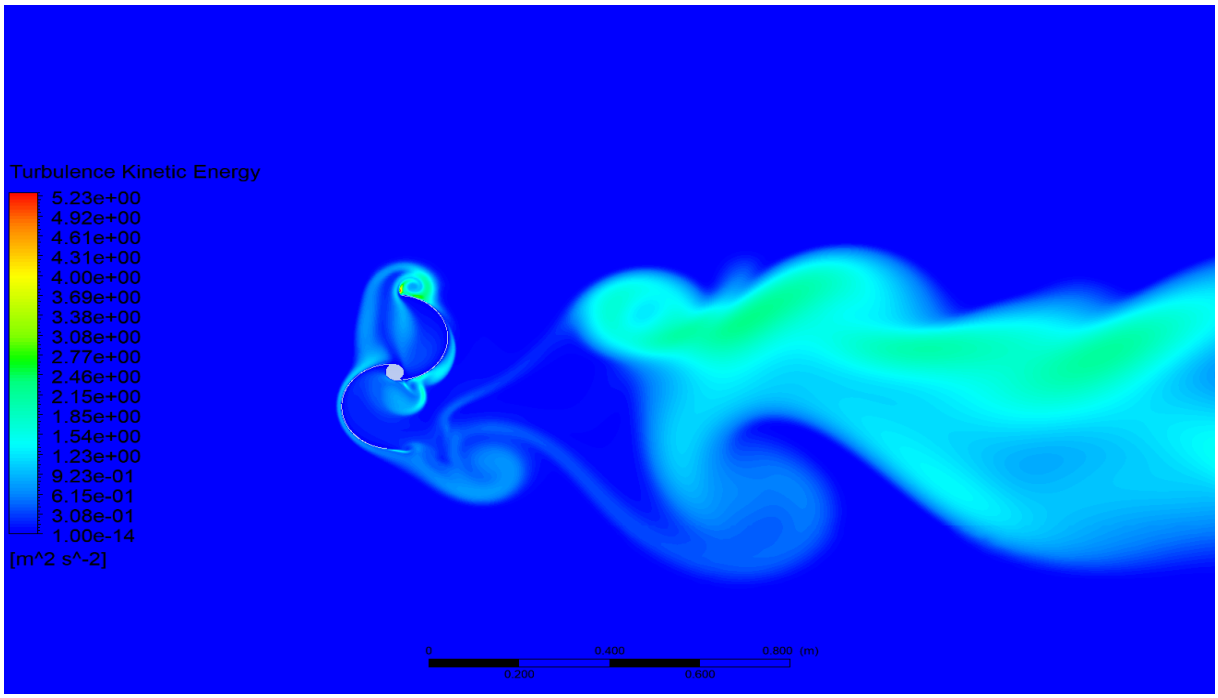
الفصل الخامس: النتائج والمناقشة

بعرض نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها للحالة المدروسة يوضح الشكل (5-1): القيم المرجعية للعنفة التي تم اعتمادها في النمذجة

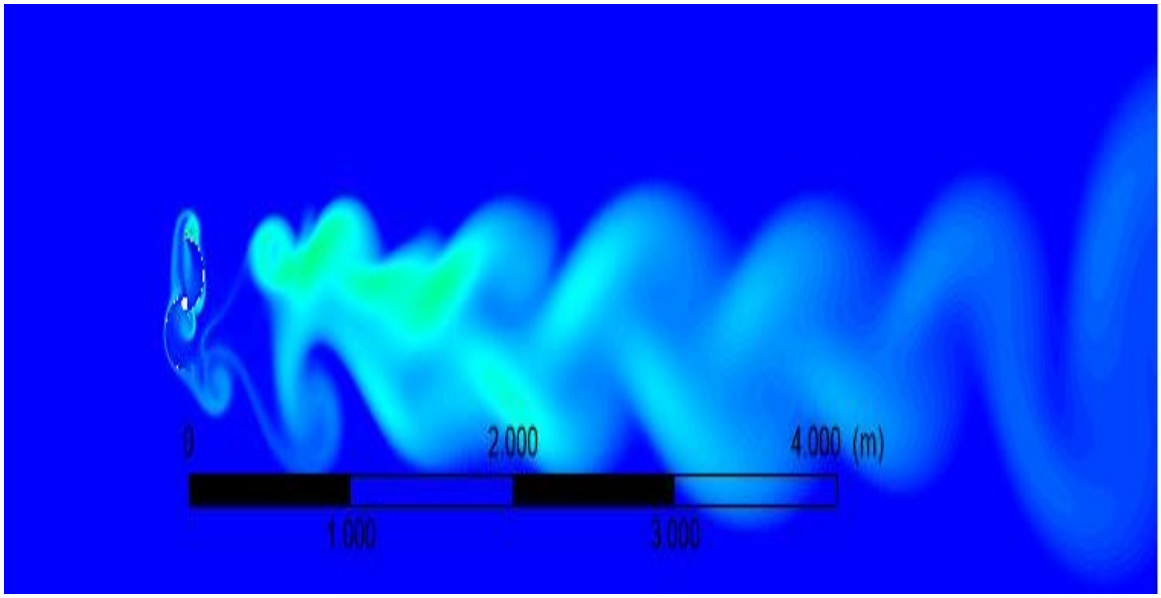


الشكل (5-1): يبين القيم المرجعية للعنفة التي تم اعتمادها في النمذجة

5-1- يتم عرض النتائج التي تم الحصول عليها عند السرعة 4.5 m/s على النحو التالي:

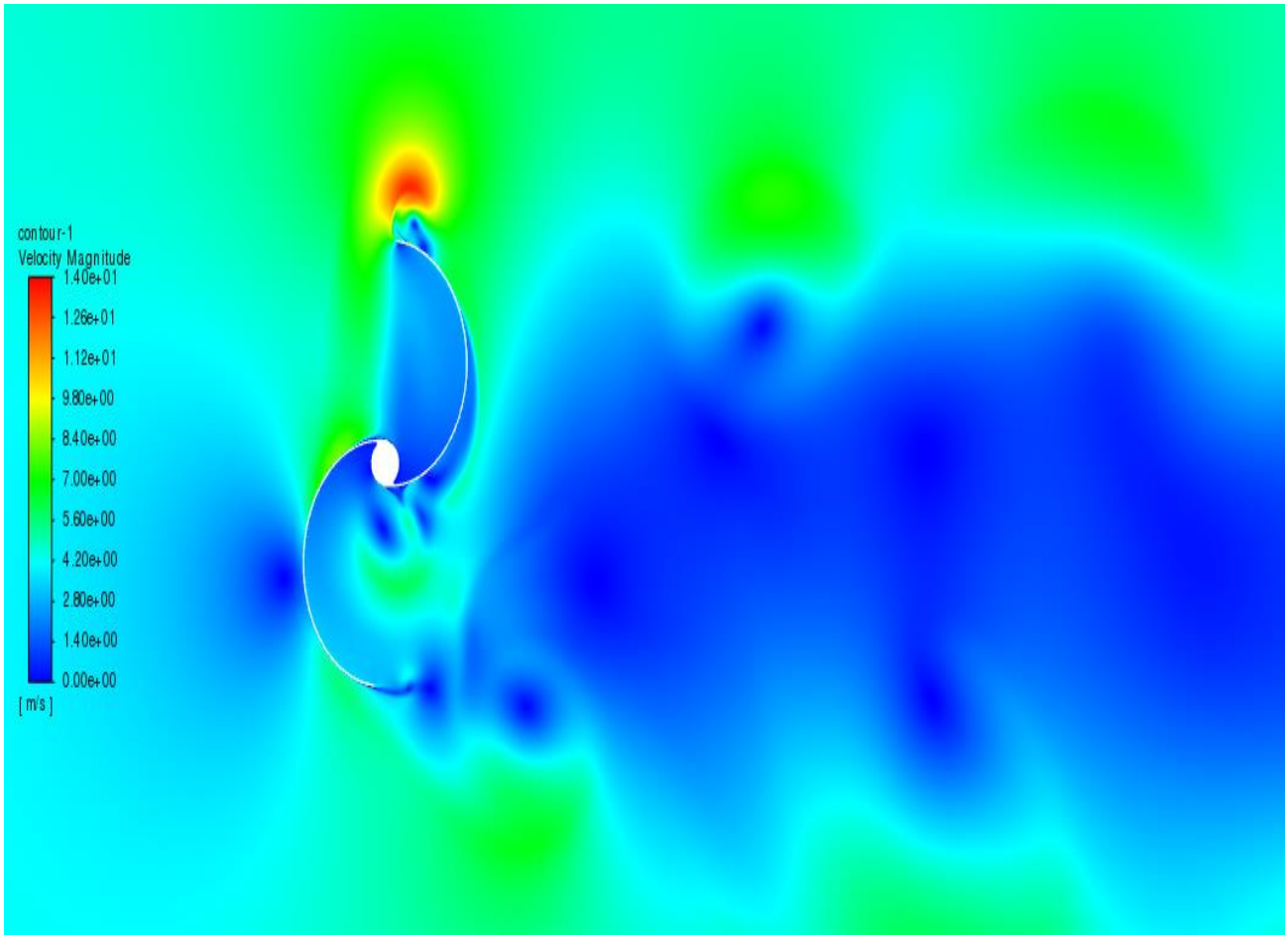


الشكل (5-2): يبين تدفق الرياح عند السرعة 4.5 m/s



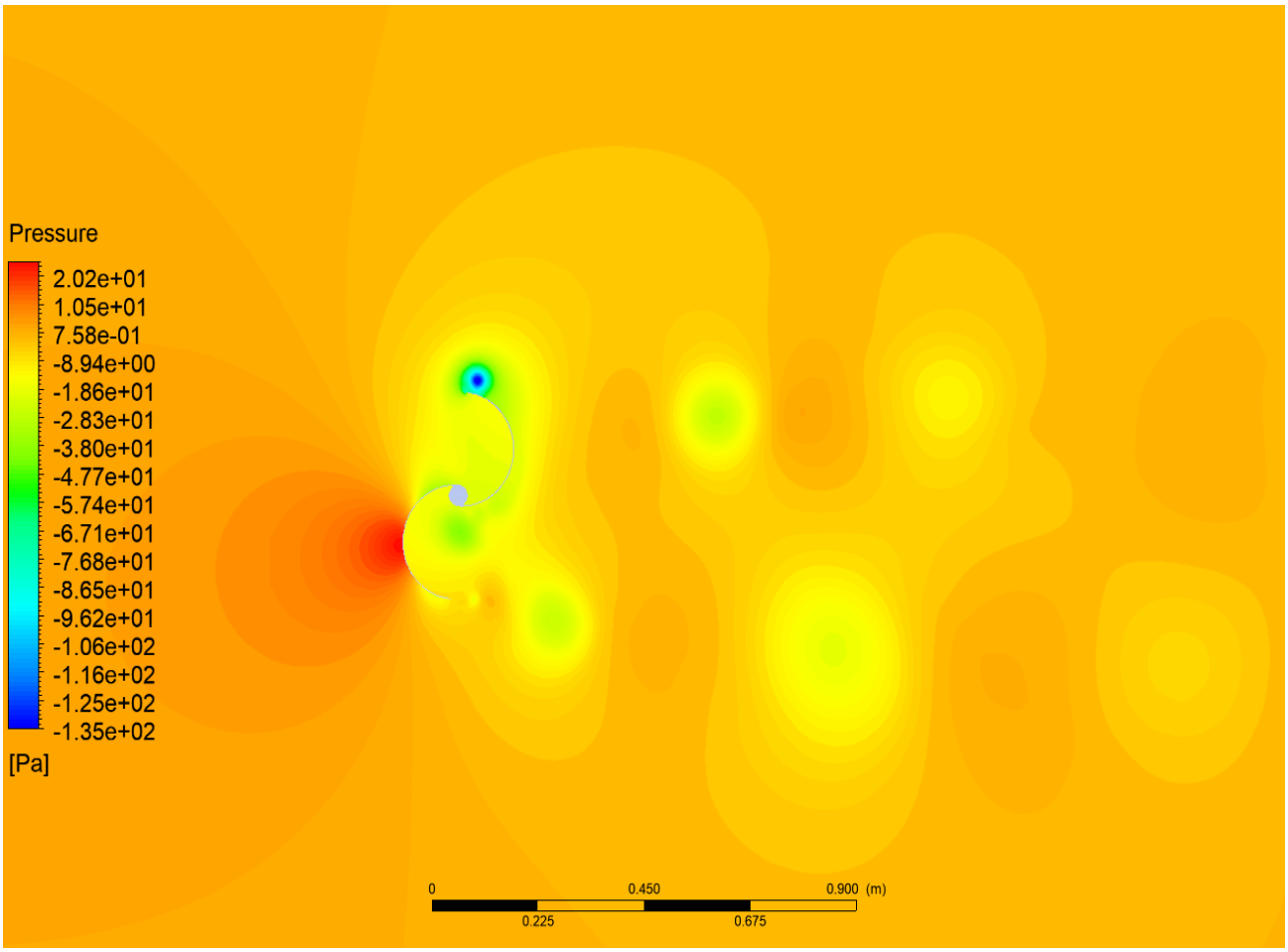
الشكل (5-3): يبين المسافة بين العنفات

من خلال دراسة تدفقات الرياح عند النمذجة نلاحظ حتى ينتهي تأثير الرياح عن العنفة يلي قبلها نستطيع أخذ المسافة بين العنفات المجاورة وبالتالي اقل قيمة لتأثير الرياح هي على بعد 4 متر، لذلك المسافة بين كل عنفة وعنفة هي 4 متر.



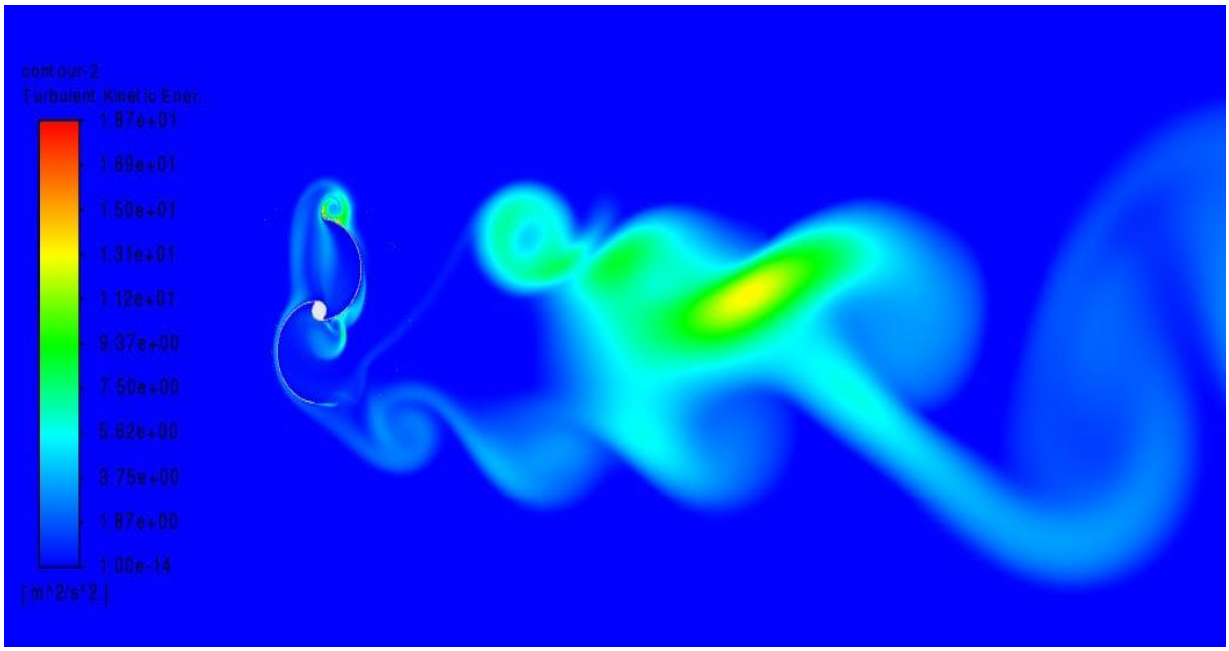
الشكل (5-4): يبين توزع سرعة خروج الهواء حول التوربين

في هذه الحالة، عند قيمة1= λ =TSR و سرعة دخول الهواء قبل العنفة قدرها 4.5 م/ث، وبناءً على الشكل (5-4) يمكن ملاحظة من نتائج النمذجة مجال السرعات وهي سرعة خروج الهواء حوالة العنفة والسرعة حوالة العنفة متغيرة من (0 الى 14) م/ث ونتيجة التغير في السرعة تؤدي الى تشكيل فرق ضغط على وجهي الدوار و تغير في الضغط ينتج فرق ضغط و بالتالي يكوّن قوة و هذه القوة تولد عزم للعنفة و تؤدي الى دوران العنفة، و بالتالي يمكن ملاحظة أيضاً من خلال الشكل (5-5) تشكيل فرق ضغط على وجهي الدوار و بالتالي توزع الضغط على وجهي الدوار يكوّن ضغط ناقص و ضغط موجب من المجال 135- باسكال ولديه أيضاً ضغط موجب يبلغ 20 باسكال.

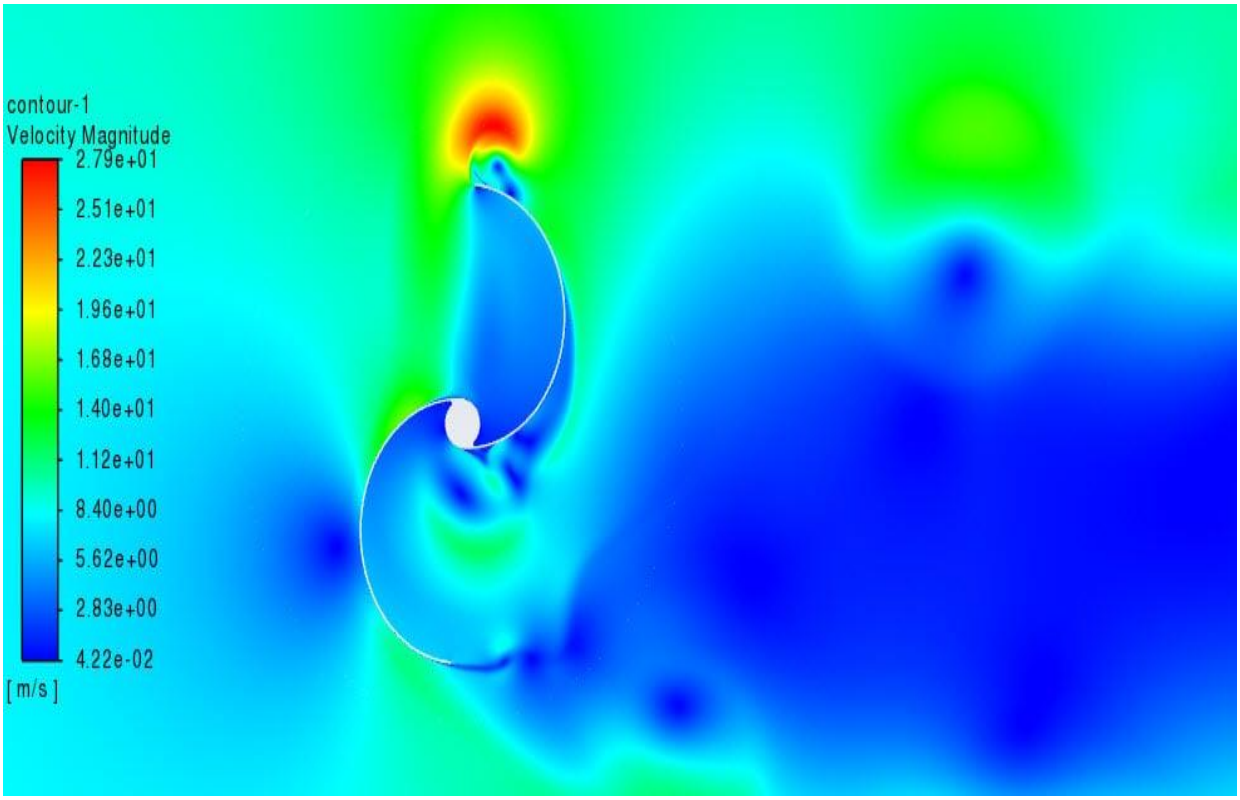


الشكل(5-5): يبين توزع الضغط على وجهي التوربين

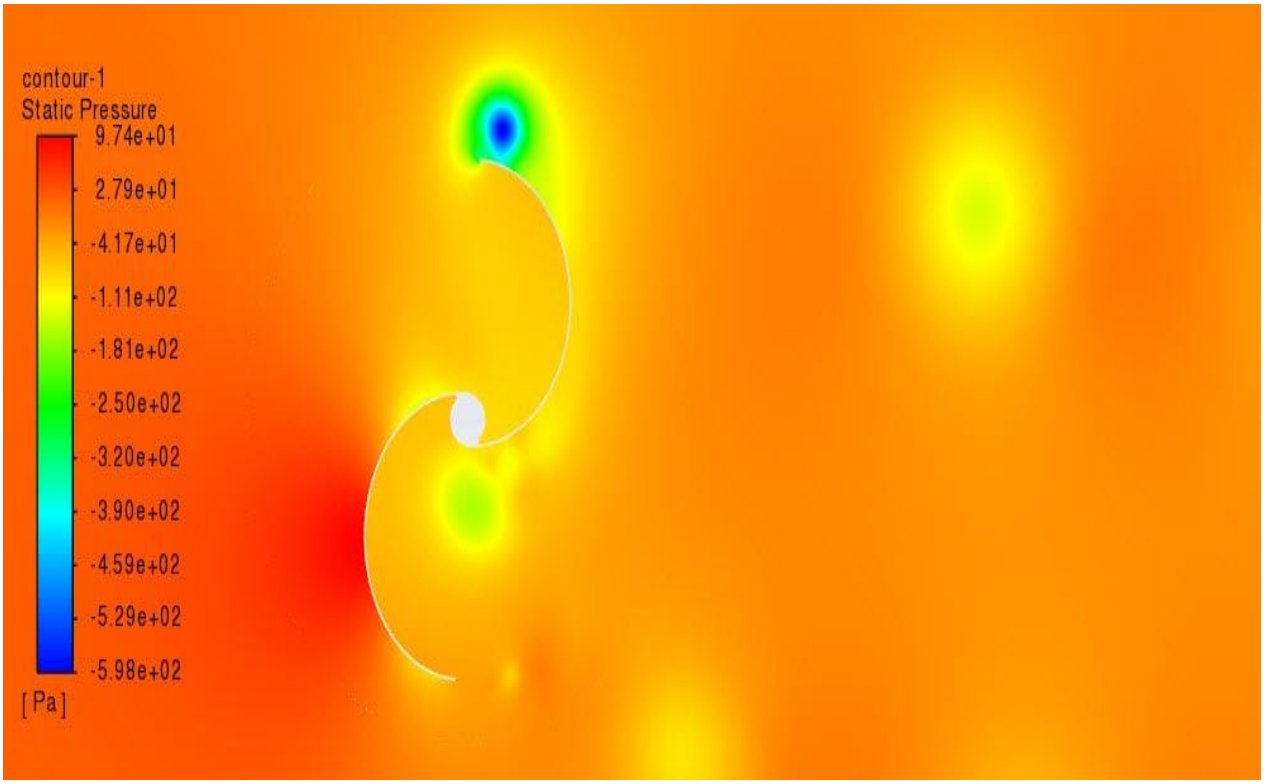
5-2- يتم عرض النتائج التي تم الحصول عليها عند السرعة 9 m/s على النحو التالي:



الشكل (5-6): يبين تدفق الرياح عند السرعة 9 m/s



الشكل (5-7): يبين توزع سرعة خروج الهواء حول التوربين



الشكل(5-8): يبين توزع الضغط على وجهي التوربين

عند قيمة1= λ =TSR وسرعة دخول الهواء قبل العنفة قدرها 9 م/ث، وبناءً على الشكل (5-7) يمكن ملاحظة من نتائج النمذجة مجال السرعات وهي سرعة خروج الهواء حوالة العنفة والسرعة حوالة العنفة متغيرة من 0.04 م/ث إلى 27 م/ث ونتيجة التغير في السرعة تؤدي الى تشكيل فرق ضغط على وجهي الدوار و تغير في الضغط ينتج فرق ضغط و بالتالي يكوّن قوة و هذه القوة تولد عزم للعنفة و تؤدي الى دوران العنفة، وبالتالي يمكن ملاحظة أيضاً من خلال الشكل (5-8) تشكيل فرق ضغط على وجهي الدوار وبالتالي توزع الضغط على وجهي الدوار يكوّن ضغط ناقص و ضغط موجب من المجال 598- باسكال ولديه أيضاً ضغط موجب يبلغ 97 باسكال.

5-3-النتائج والمناقشة:

هدفت هذه الدراسة إلى دراسة أداء توربينات الرياح سافونيوس. تشتهر توربينات الرياح سافونيوس بتشغيلها وإنتاجها للطاقة حتى عند سرعات الرياح المنخفضة، وبهدف تقليل تعقيد الدراسة المقترحة، تم اتخاذ القرار لتطبيق دراسة محاكاة ثنائية الأبعاد لتصميم VAWT المقترح.
تم تطبيق دراسة CFD ثنائية الأبعاد باستخدام برنامج ANSYS، تم حل نموذج CFD المقترح باستخدام نموذج K-ω SST وخوارزمية SIMPLE عند قيمة ثابتة لـ 1= λ =TSR وسرعة دخول الهواء قبل العنفة عند 4.5 م/ث و 9 م/ث وتوصلنا من خلال نتائج البحث إلى ما يلي:

عند السرعة 4.5 م/ث:

1. بلغ معامل القدرة الأقصى $C_p = 0.217703$ في توربين سافونيوس.
2. تبلغ قيمة الاستطاعة الفعلية للعنفة $P_{turbine} = 6.318451$ (watts) وتعتبر قيمة هذه الاستطاعة قليلة و غير مجدية فعلياً.
3. من خلال دراسة تأثير تدفق الرياح على العنفة تبين أن المسافة بين كل عنفة وعنفة هي 4 متر.

عند قيمة1= λ =TSR و سرعة دخول الهواء قبل العنفة قدرها 4.5 م/ث، يمكن ملاحظة من نتائج النمذجة مجال السرعات وهي سرعة خروج الهواء حوالة العنفة والسرعة حوالة العنفة متغيرة من (0 الى 14) م/ث ونتيجة التغير في السرعة تؤدي الى تشكيل فرق ضغط على وجهي الدوار و تغير في الضغط ينتج فرق ضغط و بالتالي يكوّن قوة و هذه القوة تولد عزم للعنفة و تؤدي الى دوران العنفة، و بالتالي يمكن ملاحظة أيضاً تشكيل فرق ضغط على وجهي الدوار و بالتالي توزع الضغط على وجهي الدوار يكوّن ضغط ناقص و ضغط موجب من المجال 135- باسكال ولديه أيضاً ضغط موجب يبلغ 20 باسكال.

عند السرعة 9 م/ث:

1. بلغ معامل القدرة الأقصى $Cp = 0.2875$ في توربين سافونيوس.
2. تبلغ قيمة الاستطاعة الفعلية للعنفة $P_{turbine} = 70.84$ (watts)
3. عند قيمة1= λ =TSR وسرعة دخول الهواء قبل العنفة قدرها 9 م/ث، يمكن ملاحظة من نتائج النمذجة مجال السرعات وهي سرعة خروج الهواء حوالة العنفة والسرعة حوالة العنفة متغيرة من 0.04 م/ث إلى 27 م/ث ونتيجة التغير في السرعة تؤدي الى تشكيل

فرق ضغط على وجهي الدوار و تغير في الضغط ينتج فرق ضغط و بالتالي يكوّن قوة و هذه القوة تولد عزم للعنفة و تؤدي الى دوران العنفة، وبالتالي تشكيل فرق ضغط على وجهي الدوار وبالتالي توزع الضغط على وجهي الدوار يكوّن ضغط ناقص و ضغط موجب من المجال 598- باسكال ولديه أيضاً ضغط موجب يبلغ 97 باسكال.

والنقطة الإيجابية في هذا النموذج الهجين(الريحي-الشمسي) هي الاستفادة من الطاقة الشمسية حيث يتم تخزين هذه الطاقة في بطارية لاستجرارها ليلاً عندما تضعف حركة المرور، ويمكن تلخيص مكونات النظام الشمسي التي تم اعتمادها في النظام الشمسي وفق الجدول (3-6) التالي:

الجدول (3-6): يبين مكونات النظام الشمسي:

قدرة اللوح الشمسي الواحد	200 W
عدد الألواح الشمسية	1 لوح
عدد البطاريات	1
سعة البطارية الواحدة	175 A
قدرة الانفرتر	100 W أو أكثر
منظم الشحن	10A / 12V

5-4-التوصيات

نظرا لأهمية توليد الكهرباء باستخدام طاقة الرياح حيث يعتبر هذا المشروع مصدراً اخضر للطاقة و لا يؤثر على حياة الأرض. لذلك هناك حاجة الى اجراء الكثير من الأبحاث حول تأثير الشفرات الدوارة المختلفة على التوربينات العمودية، يمكن اجراء أبحاث مستقبلية حول انحناء نصف الدائرة لمجموعة من سرعات الرياح، قد يكشف هذا عن وجود سرعة رياح مثالية لمثل هذا التكوين حيث يكون متوسط معامل الأداء هو الأعلى. لكن على المدى الطويل، سيكون هذا الاستثمار يستحق العناء لانه مصدر نظيف و متجدد للطاقة.

قائمة المراجع (References):

[1] Somnath S M*1 , Abhishek G R2 , Channabasavana Gouda S3 , Kavya B M4 & Kruthi Jayaram5. (2019). POWER GENERATION ON HIGHWAY USING VERTICAL AXIS WIND TURBINE AND SOLAR ENERGY. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES & RESEARCH TECHNOLOGY, 8(6), 232–240

[2] Farooque, M. O. Relation between Wind energy & Metro Rails(2019) International Journal of Engineering Trends and Applications

[3] Shah, M. H., & Alandjani, G. O. (2020).Roadside vertical solar-wind energy tower. 3cTecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme, 9(1), 51-63

[4] Ingole, A. S., & Rakhonde, B. S. (2015). Hybrid power generation system using wind energy and solar energy. International Journal of Scientific and Research Publications, 5(3), 1-4

[5] Kaladgi, A. R., Navaneeth, I. M., Afzal, A., Baig, M. A. A., Reddy, A. R., & Buradi, A. (2021, July). Experimental design and fabrication of portable hybrid wind and solar energy system. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2358, No. 1, p. 050001). AIP Publishing LLC

[6] O. A. Ajayi, "Application of automotive alternators in small wind turbines," 2012.

[7] https://di.univ-blida.dz/xmlui/bitstream/handle/123456789/11894/finel%20thesis%20corrected.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[8] "Savonius Wind Turbines | REUK.co.uk." http://www.reuk.co.uk/wordpress/wind/savonius-wind-turbines/ (accessed Jan. 10, 2021).

[9] B. Hand and A. Cashman, "A review on the historical development of the lift-type vertical axis wind turbine: From onshore to offshore floating

application," Sustain. Energy Technol. Assessments, vol. 38, p. 100646, 2020.

[10] E. Pedersen and H. I. Halmstad, Noise annoyance from wind turbines: a review. Naturvårdsverket, 2003.

[11] M. Ó. Óskarsdóttir, "A general description and comparison of horizontal axis wind turbines and vertical axis wind turbines." 2014.

[12] Zemamou et al. - 2017 - Review of savonius wind turbine design and perform.pdf." Accessed: Mar. 14, 2021. "

[13] Al-Kayiem, H. H., Bhayo, B. A., & Assadi, M. (2016). Comparative critique on the design parameters and their effect on the performance of S-rotors. *Renewable Energy*, *99*, 1306-1317.

[14] K. Sobczak, "Numerical investigations of an influence of the aspect ratio on the Savonius rotor performance," in Journal of Physics: Conference Series, 2018, vol. 1101, no. 1, p. 12034.

[15] Doerffer, K., Telega, J., Doerffer, P., Hercel, P., & Tomporowski, A. (2021). Dependence of Power Characteristics on Savonius Rotor Segmentation. *Energies*, *14*(10), 2912.

[16] T. Li, Y. Hayashi, Y. Hara, and K. Suzuki, "Wind tunnel test on a three stage out phase Savonius rotor," 2004.

[17] Dewan, A., Gautam, A., & Goyal, R. (2021). Savonius wind turbines: A review of recent advances in design and performance enhancements. *Materials Today: Proceedings*, *47*, 2976-2983.

[18] W. Tjiu, T. Marnoto, S. Mat, M. H. Ruslan, and K. Sopian, "Darrieus vertical axis wind turbine for power generation I: Assessment of Darrieus VAWT configurations," Renew. energy, vol. 75, pp. 50–67, 2015.

[19] S. Eriksson, H. Bernhoff, and M. Leijon, "Evaluation of different turbine concepts for wind power," Renew. Sustain. energy Rev., vol. 12, no. 5, pp.

[20] Islam, M., Ting, D. S. K., & Fartaj, A. (2008). Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines. *Renewable and sustainable energy reviews*, *12*(4), 1087-1109.

[21] Casini, M. (2016). Small vertical axis wind turbines for energy efficiency of buildings. Journal of Clean Energy Technologies, 4(1), 56-65.

[22]https://scholar.google.com/scholar?q=TAWALBEH,+M.+(2022).+STER+THESIS.&hl=en&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart

[23] Roy, S., & Saha, U. K. (2013). Review of experimental investigations into the design, performance and optimization of the Savonius rotor. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 227(4), 528-542.

[24] T. Pujol, A. Massaguer, E. Massaguer, L. Montoro, and M. Comamala, "Net power coefficient of vertical and horizontal wind turbines with crossflow runners," Energies, vol. 11, no. 1, p. 110, 2018.

[25] https://www.voltiat.com/solar-calculation-laws/

[26] https://ara.timegenie.com/latitude_longitude/country/sy

[27] voltiat.com/how-to-determine-the-rate-of-solar-radiation/

[28] https://www.voltiat.com/calculation-of-the-number-of-electric-batteries/

[29] https://ar.op-solarmodule.com/solar-panel/poly-full-cell-solar-panel/200w-polycrystalline-solar-panel.html

[30] T. Pujol, A. Massaguer, E. Massaguer, L. Montoro, and M. Comamala, "Net power coefficient of vertical and horizontal wind turbines with crossflow runners," Energies, vol. 11, no. 1, p. 110, 2018.

[31] A. Rezaeiha, I. Kalkman, and B. Blocken, "CFD simulation of a vertical axis wind turbine operating at a moderate tip speed ratio:

Guidelines for minimum domain size and azimuthal increment," Renew. energy, vol. 107, pp. 373– 385, 2017.

[32] Tian, W., Song, B., VanZwieten, J. H., & Pyakurel, P. (2015). Computational fluid dynamics prediction of a modified Savonius wind turbine with novel blade shapes. *Energies*, *8*(8), 7915-7929.

[33] M. E. Nimvari, H. Fatahian, and E. Fatahian, "Performance improvement of a Savonius vertical axis wind turbine using a porous deflector," Energy Convers. Manag., vol. 220, p. 113062, 2020.

[34] J.-H. Lee, Y.-T. Lee, and H.-C. Lim, "Effect of twist angle on the performance of Savonius wind turbine," Renew. Energy, vol. 89, pp. 231– 244, 2016.

[35] K. Sobczak, "Numerical investigations of an influence of the aspect ratio on the Savonius rotor performance," in Journal of Physics: Conference Series, 2018, vol. 1101, no. 1, p. 12034.

[36] G. Ferrari, D. Federici, P. Schito, F. Inzoli, and R. Mereu, "CFD study of Savonius wind turbine: 3D model validation and parametric analysis," Renew. energy, vol. 105, pp. 722–734, 2017.

[37] T. Bouhal et al., "CFD performance enhancement of a low cut-in speed current Vertical Tidal Turbine through the nested hybridization of Savonius 99 and Darrieus," energy Convers. Manag., vol. 169, pp. 266–278, 2018.