



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Larbi Tebessi – Tebessa

Faculté des Sciences et Technologie

Département de Génie mécanique

Spécialité Energétique



جامعة الشيخ العربي تبسي - تبسة

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الهندسة الميكانيكية

تخصص طاقوية

من إعداد الطالبين :

حنان بوحنيك

الشريف معطوب

العنوان

تصميم وتجسيد مروحة محورية بواسطة الطابعة

ثلاثية البعد لنفق هوائي من النوع النافث.

تحت إشراف الأستاذ: رمزي مدوكي

أعضاء لجنة المناقشة :

| الصفة | الرتبة العلمية | الإسم واللقب |
|-----------------------------|-------------------|-----------------------|
| رئيساً | أستاذ تعليم عالي | عبد الناصر بلعازيزية |
| مشرفاً و مقررًا | أستاذ تعليم عالي | رمزي مدوكي |
| عضوا مناقشة | أستاذ محاضر - ب - | رضوان لعور |
| ممثل الحاضنة | | نايت حمود محمد الشريف |
| الشريك الاجتماعي والاقتصادي | | هادفي تركية |

السنة الجامعية : 2023/2022



قال تعالى :

﴿يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ كَرَجَائِهِ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ﴾

فهرس المحتويات

الاهداء

شكر وعرهان

قائمة الرموز

فهرس الأشكال

فهرس الجداول

المقدمة العامة.....أ

الفصل الأول: عموميات حول المراوح

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | المراوح المحورية..... | 5 |
| 2 | مبدأ التشغيل..... | 6 |
| 3 | استعمالات المروحة المحورية..... | 7 |
| 4 | انواع المراوح المحورية..... | 8 |
| 1.4 | مراوح الدفع: Propeller fan..... | 8 |
| 2.4 | مراوح محورية أنبوبية: Tube axial fan..... | 8 |
| 3.4 | مراوح محورية بشبكة توجيه: Vane axial fan..... | 9 |
| 4.4 | مراوح محورية ذات مرحلتين: Two-Stage Axial Fans..... | 10 |
| 5 | طريقة ربط المروحة بالمحرك..... | 11 |
| 6 | أداء المروحة المحورية..... | 13 |

الفصل الثاني: تصميم مروحة جريان محوري

| | | |
|-------|------------------------------------|----|
| 1 | مقدمة:..... | 17 |
| 1.1 | الخصائص الهندسية للجنيح معزول..... | 17 |
| 1.1.1 | القوى المؤثرة على جنيح معزول..... | 19 |

| | | |
|------------------|--|------------|
| 19..... | مثالث السرعات الخاص بالجنح المعزول..... | 2.1.1 |
| 20 | الخصائص الهندسية لجنح داخل شبكة جنيحات | 2.1 |
| 21 | المقاربات المستعملة في تصميم المراوح | 3.1 |
| 22..... | مقاربة الجنيح المعزول..... | 1.3.1 |
| 24..... | مقاربة شبكة جنيحات (Cascade approach)..... | 2.3.1 |
| 25..... | مقاربة الجنيح المعزول المعدلة (Modified isolated airfoil)..... | 3.3.1 |
| 26 | إنشاء تصميم أولي..... | 4.1 |
| 28..... | الطريقة الأولى..... | 1.4.1 |
| 29..... | الطريقة الثاني..... | 2.4.1 |
| 32 | معاملات الضغط والتدفق | 2 |
| 33 | مخططات السرعة، زوايا التدفق وزوايا الاجنحة | 1.2 |
| 35 | الضغوط والكفاءة..... | 3 |
| 36 | تدفق الدوامات غير الحرة..... | 4 |

الفصل الثالث: تصميم المروحة بواسطة برنامج CFTurbo

| | | |
|-----------------|--|------------|
| 38 | لمحة عامة عن برنامج CFTurbo..... | 1 |
| 39 | خطوات تصميم مروحة محورية بواسطة برنامج Cfturbo..... | 2 |
| 39 | تحديد قيم نقطة التصميم..... | 1.2 |
| 39 | الإعدادات العامة:..... | 2.2 |
| 40 | تصميم الجزء الدوار..... | 3.2 |
| 41..... | الأبعاد الرئيسية للعجلة الدوارة..... | 1.3.2 |
| 42..... | تصميم المحيط الرأسي للجزء الدوار..... | 2.3.2 |
| 44..... | خصائص الجناح..... | 3.3.2 |
| 44..... | مقطع الجناح..... | 4.3.2 |
| 45..... | النموذج ثلاثي البعاد..... | 5.3.2 |
| 46 | تصميم الجزء الثابت..... | 4.2 |

الفصل الرابع: المحاكاة العددية

| | | | |
|----|-------|------------------------------------|-------|
| 51 | ..... | المقدمة | |
| 52 | ..... | مرحلة التصميم | 1 |
| 53 | ..... | مرحلة تشكيل الشبكة | 2 |
| 55 | ..... | مرحلة الحل العددي للمعادلات | 3 |
| 56 | ..... | الشروط الحدية | 1.3 |
| 57 | ..... | مؤشرات التقارب | 2.3 |
| 57 | ..... | النتائج | 4 |
| 57 | ..... | الحالة الأولى (مروحة) | 1.4 |
| 57 | ..... | المروحة الصغيرة | 1.1.4 |
| 68 | ..... | المروحة الكبيرة | 2.1.4 |
| 72 | ..... | المرحلة الثانية (عجلة دوارة وثابت) | 2.4 |
| 75 | ..... | التعليقات | 5 |

الفصل الخامس: التجسيد

| | | | |
|----|-------|----------------------------------|-------|
| 79 | ..... | المقدمة | |
| 80 | ..... | تعريف الطابعة ثلاثية البعاد | 1 |
| 80 | ..... | كيفية اختيار المواد المناسبة | 2 |
| 83 | ..... | مرحلة التصميم ببرنامج SolidWorks | 3 |
| 83 | ..... | تعريف البرنامج | 1.3 |
| 83 | ..... | تصميم الجزء الدوار | 1.1.3 |
| 84 | ..... | تصميم الجزء الثابت للمروحة | 2.1.3 |
| 86 | ..... | التقطيع | 4 |
| 87 | ..... | مرحلة الطبع | 5 |
| 90 | ..... | مرحلة تجميع وتثبيت القطع | 6 |

الخاتمة العامة

قائمة المصادر ولمراجع

الملخص



الإهداء

إلى من أفضلها على نفسي، ولم لا فقد ضحيت من أجلي
ولم تدخر جهداً في سبيل إسعادي على الدوام،

أُمِّي الحبيبة ♡ مباركة ♡

نسير في دروب الحياة ويبقى من يُسيطر على أذهاننا
في كل مسلك نساكهُ

صاحب الوجه الطيب، والأفعال الحسنة

فلم يبخل عليّ طيلة حياته،

والدي العزيز ♡ عمر ♡

وإلى اخوتي

♡ ليمان، بلال، سميرة، نورة، منية، عيدة، إلهام ♡

أصدقائي، وجميع من وقفوا بجواري وساعدوني بكل ما يملكون،

وإلى كل من ساهم في تلقيني ولم يحرف في حياتي الدراسية،

أقدم لكم هذا البحث وأتمنى أن يحوز على رضاكم





الإهداء



الحمد لله حبا وشكرا وامتنانا، ماكنت لأفعل هذا لو لا فضل الله فالحمد لله على البدء والختام

{ وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ }

أهدي هذا النجاح إلى كل من سعى معي لإتمام هذه المسيرة، دمت لي سنداً لا عمر له... اهدي هذا البحث إلى مصدر قوتي وفخري لطالما عاهدته بهذا النجاح ها أنا أتمت وعدي واهديه إليك (أبي الغالي أدامه الله ذخرا لي)

إلى نبراس أيامي ووهج حياتي إلى التي ظلت دعواتها تضم أسمى دائماً، إلى التي رأيتي قلبها قبل عينها وحضنتني أحشاؤها قبل يديها إلى الظل الذي آوى إليه في كل حين (أمي حبيبتي).

وإلى ملهمي نجاحي صناع قوتي صفوة أيامي وسلوة أوقاتي إلى قرّة عيني (أخواتي وأخي). إلى من تسللت دروبي بكن وهانت الصعاب معكن إلى ملجأ في هذه الرحلة وفي كل مرة أقف علي عتبة الخوف استنزل بكن (اصدقائي) إلى كل شخص مد يده للمساعدة في اتمام هذا العمل وكانت نصائحهم ترافقني.

إلى نفسي الطموحة ها انت قد حققتي ما كان بالأمس حلماً، فسجادتني التي شهدت دموعي في الليالي الدجي العسيرة الآن تشهد على سروري وفرحتي.

وفي الختام

وكما قيل كان حلماً فاحتمالاً ثم أصبح حقيقة لا خيالاً و الحمد لله على التمام

بوحنيك حنان.



شكر وعرفان

نحمد الله عز وجل الذي أهدانا الصبر والثبات وأمدنا بالقوة والعزم على مواصلة مشوارنا الدراسي وتوفيقه لنا في إنجاز هذا العمل، فنحمدك اللهم ونشكرك على نعمتك وفضلك ونسألك البر والتقوى، ومن العمل ما ترضى، وسلام على حبيبك وخليفه الأمين، عليه أزكى الصلاة والسلام

كما نتقدم بجزيل الشكر والتقدير للأستاذ الفاضل

♥ مدوكي رمزي ♥

لتفضله بالإشراف على هذا البحث وسعة صدره وبشاشة وجهه وعلى حرصه أن يكون هذا العمل في صورة كاملة لا يشوبه أي نقص ولا يشوبه لبس، نسأل الله أن يجزيه عنا كل خير قبل الإشراف على هذا العمل البسيط، وعلى المجهودات التي بذلها من أجلنا، والنصائح والتوجيهات العظيمة التي كان يضعها نصب أعيننا وهو يتبع هذا البحث بكل اهتمام جعل الله ذلك في ميزان حسناته يوم الدين،

وننتقدم بجزيل الشكر وخالص الامتنان إلى كلية العلوم والتكنولوجيا في العموم، قسم

الهندسة الميكانيكية بالخصوص.



قائمة الرموز

- ASME: لجمعية المهندسين الميكانيكيين الأمريكية
- HVAC: تدفئة وتهوية وتكييف الهواء
- AMCA: منظمة حركة الهواء والتحكم
- ASHRAE: منظمة المهندسين الأمريكية للتدفئة والتبريد وتكييف الهواء
- N : القوة الناظمية.
- A : القوة المحورية.
- L : قوة الرفع (Lift)
- D : قوة الجر (Drag)
- C_D, C_L : معاملا قوتي الجر والرفع على الترتيب.
- S : خطوة الشبكة
- b : طول الجناح.
- C : الوتر.
- t_{max} : الانحناء الاعظمي.
- V_{∞} : سرعة الهواء.
- ρ : الكتلة الحجمية للهواء.
- V_1, V_2 : السرعة المطلقة عند المدخل والمخرج.
- U : السرعة الدورانية للعجلة (سرعة الجر).
- W_1, W_2 : سرعة الجريان النسبية عند المدخل والمخرج.
- β_1, β_2 : زاوية الدفع عند المدخل والمخرج.
- σ : الصلابة
- Z_b : عدد الاجنحة.
- R_m : هو متوسط نصف قطر المروحة
- R_t : نصف قطر الراس.
- R_h : نصف قطر الجذر.

- θ : زاوية تحدب الجناح.
- β_{b2}, β_{b1} : زوايا مدخل ومخرج الجنيح.
- ξ : زاوية التثبيت.
- β_m : زاوية الجريان الوسطى.
- α : زاوية الهجوم.
- i : زاوية الورود عند المدخل.
- δ : زاوية الانحراف عند المخرج.
- K_f : معامل تأثير شبكة الجنيحات.
- C_{Li} : معامل رفع الجنيح المعزول.
- Q_v : التدفق الحجمي.
- Δp : الفرق في الضغط.
- Δp_L : الضياعات الخطية
- Δp_s : الضياعات النوعية
- σ, ω, N : سرعة الدوران
- δ, Δ_s : القطر النوعي
- ω_s, N_s : السرعة النوعية
- D_f : قطر المروحة
- v : نسبة طرف الجذر
- ψ : معامل الضغط (العمل)
- \emptyset : معامل التدفق
- P_f : الضغط الكلي للمروحة
- $P_{t_{out}}$: الضغط الكلي عند المخرج
- $P_{t_{in}}$: الضغط الكلي عند المدخل
- P_{d_f} : الضغط الديناميكي للمروحة
- P_{s_f} : الضغط الساكن للمروحة
- P_{u_f} : استطاعة المروحة

- η_h : كفاءة المروحة
- T : عزم المروحة
- CFD : برنامج الديناميكية الحسابية للموائع
- CAD : التصميم بمساعدة الحاسوب
- nq : السرعة النوعية
- Y : العمل النوعي
- PQ : الطاقة المولدة
- \dot{m} : معامل التدفق الكلي
- STEP : المعيار لتبادل بيانات نموذج المنتج
- IGES : المواصفة الأولية لتبادل الرسومات
- Msh : تنسيق ملف الشبكة
- STL : لغة التجانس التصويرية القياسية

قائمة الأشكال

| العنوان | الرقم |
|--|------------|
| الفصل الأول | |
| مروحة محورية | الشكل 1.1 |
| رسم تخطيطي يوضح جريان الهواء داخل مروحة محورية | الشكل 2.1 |
| رسم تخطيطي لمروحة محورية رفاصة النوع (اليمين)، مروحة الدفع (اليسار). | الشكل 3.1 |
| رسم تخطيطي للمروحة المحورية الانبوبية (اليمين)، المروحة المحورية الانبوبية (اليسار). | الشكل 4.1 |
| رسم تخطيطي للمروحة المحورية بشبكة توجيه | الشكل 5.1 |
| مروحة محورية ذات مرحلتين | شكل 6.1 |
| مروحة رفاصة بترتيب دفع مباشر | الشكل 7.1 |
| مروحة دفع مزودة بسير | الشكل 8.1 |
| المحورية مروحة الأنبوبية، ربط مباشر (اليمين)، ربط غير مباشر (يسار). | شكل 9.1 |
| مروحة بشبكة توجيه، ربط مباشر (اليمين)، ربط غير مباشر (اليسار). | شكل 10.1 |
| أداء مروحة تدفق محوري. | شكل 11.1 |
| الفصل الثاني | |
| الخصائص الهندسية لجنيح معزول | الشكل 1.2 |
| القوى المؤثرة على جنيح معزول | الشكل 2.2 |
| مثلث السرعات الخاص بالجنيح المعزول | الشكل 3.2 |
| الخصائص الهندسية لجنيح داخل شبكة جنيحات | الشكل 4.2 |
| خصائص الجنيح في مقارنة الجنيح المعزول | الشكل 5.2 |
| خصائص الجناح في مقارنة شبكة الجنيحات | الشكل 6.2 |
| منحنيات معامل شبكة الجنيحات بدلالة الصلابة | الشكل 7.2 |
| منحنيات كورديار | الشكل 8.2 |
| منحنى سرعة الدوران النوعية بدلالة القطر النوعية | الشكل 9.2 |
| نسبة طرف الجذر بدلالة سرعة الدوران النوعية | الشكل 10.2 |
| السرعة النوعية بدلالة معاملي الضغط والتدفق | الشكل 11.2 |
| مثلثات السرعة | الشكل 12.2 |
| الفصل الثالث | |
| واجهة البرنامج | الشكل 1.3 |

| | |
|--|------------|
| مدخلات ومخرجات التصميم ونوع الآلة | الشكل 2.3 |
| اختيار نوع العجلة | الشكل 3.3 |
| مدخلات التصميم | الشكل 4.3 |
| أبعاد العجلة الدوارة (اليمين)، مثلث السرعات (اليسار) | الشكل 5.3 |
| مسار التدفق | الشكل 6.3 |
| تصميم أنف المروحة | الشكل 7.3 |
| خصائص الجناح | الشكل 8.3 |
| مقطع الجناح | الشكل 9.3 |
| الشكل 3D، الكبيرة (اليمنى)، الصغيرة (اليسرى) | الشكل 10.3 |
| اختيار تصميم الجزء الثابت | الشكل 11.3 |
| أبعاد الجزء الثابت | الشكل 12.3 |
| شكل نهاية الجزء الثابت | الشكل 13.3 |
| خصائص جناح الثابت | الشكل 14.3 |
| إحداثيات الجناح في حافتي الهجوم والانفلات | الشكل 15.3 |
| تعديل شكل حافة الهجوم | الشكل 16.3 |
| مخطط عمل برنامج CFTurbo | الشكل 17.3 |
| الفصل الرابع | |
| المروحة في برنامج SPACE CLIME | الشكل 1.4 |
| المروحة من برنامج DESIGN MODELER | الشكل 2.4 |
| المروحة بعد وضعها داخل الجملة | الشكل 3.4 |
| الشبكة | الشكل 4.4 |
| المروحة من واجهة برنامج ANSYS FLUENT | الشكل 5.4 |
| الجملة من واجهة برنامج ANSYS FLUENT | الشكل 6.4 |
| شكل يمثل مختلف الشروط الحدية | الشكل 7.4 |
| تغيرات الضغوط في مختلف المحطات | الشكل 8.4 |
| تغيرات الضغط الكلي عبر المحطات مع تغير التدفق | الشكل 9.4 |
| تغيرات الضغط الساكن عبر المحطات مع تغير التدفق | الشكل 10.4 |
| تغيرات الضغط الديناميكي عبر المحطات مع تغير التدفق | الشكل 11.4 |
| استطاعة كل من المروحة والجملة | الشكل 12.4 |
| منحنيات الفرق في ضغط المروحة والجملة وكفاءة المروحة | الشكل 13.4 |

| | |
|--|------------|
| الضغط الكلي للمروحة داخل الجملة | الشكل 14.4 |
| الضغط الكلي للمروحة، الوجه (اليمين)، الظهر (اليسار) | الشكل 15.4 |
| الضغط الساكن للمروحة داخل الجملة | الشكل 16.4 |
| الضغط الساكن للمروحة، الظهر (اليمين)، الوجه (اليسار) | الشكل 17.4 |
| الضغط الديناميكي للمروحة داخل الجملة | الشكل 18.4 |
| الضغط الديناميكي للمروحة، الوجه (اليمين)، الظهر (اليسار) | الشكل 19.4 |
| محصلة السرعة للمروحة داخل الجملة | الشكل 20.4 |
| محصلة السرعة للمروحة، الوجه (الايمن)، الظهر (الايسر) | الشكل 21.4 |
| محصلة السرعة للمروحة، في المقاطع 0.1 و 0.5 و 0.9 من الجناح على التوالي | الشكل 22.4 |
| خطوط التيار | الشكل 23.4 |
| محصلة سرعة المروحة، 2000 Rpm (اليمين)، 4000 Rpm (اليسار) | الشكل 24.4 |
| منحنيات الفرق في ضغط المروحة والجملة وكفاءة المروحة | الشكل 25.4 |
| الضغط الكلي للمروحة داخل الجملة | الشكل 26.4 |
| الضغط الكلي للمروحة، الوجه (اليمين)، الظهر (اليسار) | الشكل 27.4 |
| الضغط الساكن للمروحة داخل الجملة | الشكل 28.4 |
| الضغط الساكن للمروحة، الوجه (اليمين)، الظهر (اليسار) | الشكل 29.4 |
| الضغط الديناميكي للمروحة داخل الجملة | الشكل 30.4 |
| الضغط الديناميكي للمروحة، الوجه (اليمين)، الظهر (اليسار) | الشكل 31.4 |
| محصلة السرعة للمروحة داخل الجملة | الشكل 32.4 |
| محصلة السرعة للمروحة، الوجه (اليمين)، الظهر (اليسار) | الشكل 33.4 |
| خطوط التيار | الشكل 34.4 |
| منحنيات الفرق في ضغط المروحة والجملة وكفاءة المروحة | الشكل 35.4 |
| الضغط الكلي للمروحة، داخل الجملة (اليمين)، لوحدها (اليسار) | الشكل 36.4 |
| الضغط الساكن للمروحة، داخل الجملة (اليمين)، لوحدها (اليسار) | الشكل 37.4 |
| الضغط الديناميكي للمروحة، داخل الجملة (اليمين)، لوحدها (اليسار) | الشكل 38.4 |
| خطوط التيار | الشكل 39.4 |
| الفصل الخامس | |
| نموذج لطابعة D3 | الشكل 1.5 |
| طابعة Ender 3D max | الشكل 2.5 |
| نماذج هن أنواع الخيوط | الشكل 3.5 |

| | |
|---|------------|
| المروحة من واجهة برنامج SOLID WORKS | الشكل 4.5 |
| أنف المروحة(اليمين)، وصلة بين المحرك والمروحة(اليسار) | الشكل 5.5 |
| جزر الجزء الدوار (غطاء المحرك) | الشكل 6.5 |
| جناح الجزء الثابت(اليمين)، مخرج الجزء الثابت(اليسار) | الشكل 7.5 |
| الشكل النهائي للمروحة | الشكل 8.5 |
| مقطع طولي للمروحة | الشكل 9.5 |
| واجهة إعدادات سليسر | الشكل 10.5 |
| واجهة برنامج سليسر مع الوقت المستغرق لطباعة القطعة | الشكل 11.5 |
| مرحلة الطباعة | الشكل 12.5 |
| تابع لمرحلة الطباعة | الشكل 13.5 |
| مرحلة التجميع | الشكل 14.5 |
| نموذج عن طريقة التركيب | الشكل 15.5 |
| نموذج عن طريقة التركيب داخل الجملة | الشكل 16.5 |

قائمة الجداول

| الرقم | العنوان |
|---------------------|--|
| الفصل الأول | |
| جدول 1.1 | لفرق بين الضواغط والمراوح والنافخات |
| الفصل الثاني | |
| جدول 1.2 | معطيات الادخال |
| جدول 2.2 | تأثير الخلوص |
| الفصل الثالث | |
| جدول 1.3 | قيم نقطة التصميم |
| الفصل الرابع | |
| جدول 1.4 | المدخلات والشروط الحدية |
| جدول 2.4 | قيم الضغوط الناتجة عن محاكاة التدفق الكتلي 0.36 |
| جدول 3.4 | تغيرات الضغط الكلي عبر المحطات مع تغير التدفق |
| جدول 4.4 | تغيرات الضغط الساكن عبر المحطات مع تغير التدفق |
| جدول 5.4 | نتائج الفرق في ضغط المروحة والعزم بدلالة تغير التدفق |
| جدول 6.4 | استطاعة وكفاءة المروحة بدلالة التدفق |
| جدول 7.4 | استطاعة وكفاءة المروحة بدلالة التدفق |
| جدول 8.4 | نتائج الفرق في ضغط المروحة والعزم بدلالة تغير التدفق |
| جدول 9.4 | نتائج الفرق في ضغط المروحة والعزم بدلالة تغير التدفق |
| جدول 10.4 | استطاعة وكفاءة المروحة بدلالة التدفق |
| الفصل الخامس | |
| جدول 5.1 | أنواع الخيوط وخصائصهم |
| جدول 5.2 | مدخلات الطباعة |
| الملاحق | |
| الملحق 1 | خصائص الجملة الخاصة بالمروحة الصغيرة |
| الملحق 2 | خصائص الجملة المتعلقة بالمروحة الكبيرة |

المقدمة العامة

المقدمة العامة

يعود أصل المراوح الى القرن الثامن عشر قبل الميلاد في مصر القديمة حينها استخدمت المراوح المحمولة بأحجام مختلفة؛ وتم استخدامها من قبل مختلف الامم في جميع انحاء العالم لمئات السنين وكان اول استخدام لها في المانيا لأغراض التهوية في مناجم المعادن خلال القرن السادس عشر وتم تصنيعها من الخشب. وكان الغرض الرئيسي منها خلق تيار هوائي لتبريد حرارة الجسم.

تعد المراوح من اهم الآلات التوربينية عالية الطلب حيث يكمن دورها في خلق فروق في الضغط لنقل حجم كبير من الهواء عبر النظام باستخدام دوار. يتم تصنيف المراوح بناء على اتجاه تدفق الهواء الى أربع فئات مختلفة مراوح محورية، طرد مركزي، مختلطة، وتدفق مستدير.

تم التركيز في هذه الاطروحة على المراوح المحورية والتي تم تصميمها من اجل توجيهها للعمل داخل نفق هوائي من النوع المفتوح الذي يعرف عنه انه يستخدم لإجراء التجارب والابحاث العلمية لدراسة الظواهر الايروديناميكية كقياس خصائص الجريانات على الاجنحة. لذلك سيتم في هذه الدراسة تصميم وتحليل مروحة محورية ليتم تجسيدها بواسطة طابعة ثلاثية البعد وثبيتها داخل النفق الهوائي. يتم تقسيم العمل الى جزئين:

الجزء النظري: والذي بدوره ينقسم الى فصلين

الفصل الاول: تناول التعريف بهذه الالة التوربينية.

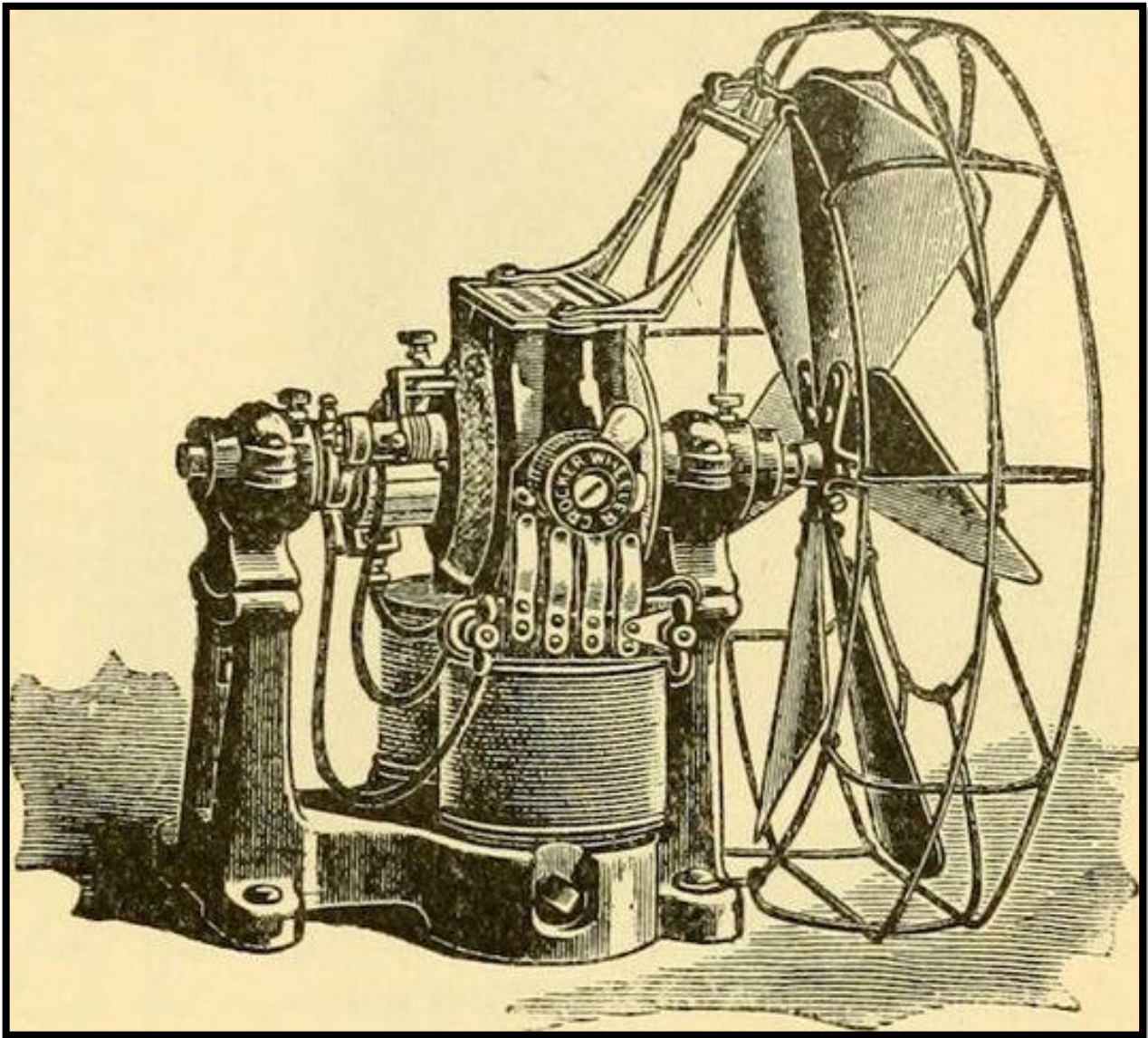
الفصل الثاني: تطرقنا في هذا الفصل الى الخصائص الهندسية المعتمدة في تصميم المراوح المحورية.

الجزء التطبيقي: ينقسم الى ثلاث فصول.

الفصل الثالث: يتم الاعتماد على برنامج Cfturbo في هذه المرحلة لتصميم هذه الاخيرة التي تعتمد في ذلك على المدخلات المتمثلة في التدفق الحجمي، فرق الضغط، سرعة الدوران.

الفصل الرابع: يتم في هذا الفصل القيام بالدراسة العددية للمروحة عن طريق برنامج ANSYS FLUENT.

الفصل الخامس: يتناول هذا الفصل تجسيد المروحة المحورية من خلال طباعتها بالطابعة ثلاثية الابعاد.



الشكل 1 مروحة محورية قديمة

الفصل الأول

عموميات حول المراوح

المقدمة

المروحة عبارة عن عجلة متكونة من عدة جناحات موجهة بزاوية معينة ومثبتة على المحور تقوم عند دورانها بتحريك المائع في اتجاه عمودي على مستوي الدوران، لتكسبه طاقة ضغط وطاقة حركية، فالمروحة من الآلات التوربينية المستهلكة للطاقة فهي تمتص الطاقة الكهربائية لتحويلها لطاقة ميكانيكية تظهر في الجريان. نميز نوعين من المرواح:

- **مراوح الطرد المركزي:** يندفع الهواء في الاتجاه المحوري ثم يتوزع عموديا على المحور.
- **مراوح محورية:** يكون جريان الهواء موازيا للمحور من المدخل الى المخرج.

1 المرواح المحورية

هذا النوع هو الذي سنهتم به في دراستنا. إن الشكل (1.1) الموضح أسفله يبين عجلة دوارة (Rotor) لمروحة محورية داخل أنبوب يليها ثابت (Stator) يعمل على توجيه المائع محوريا.

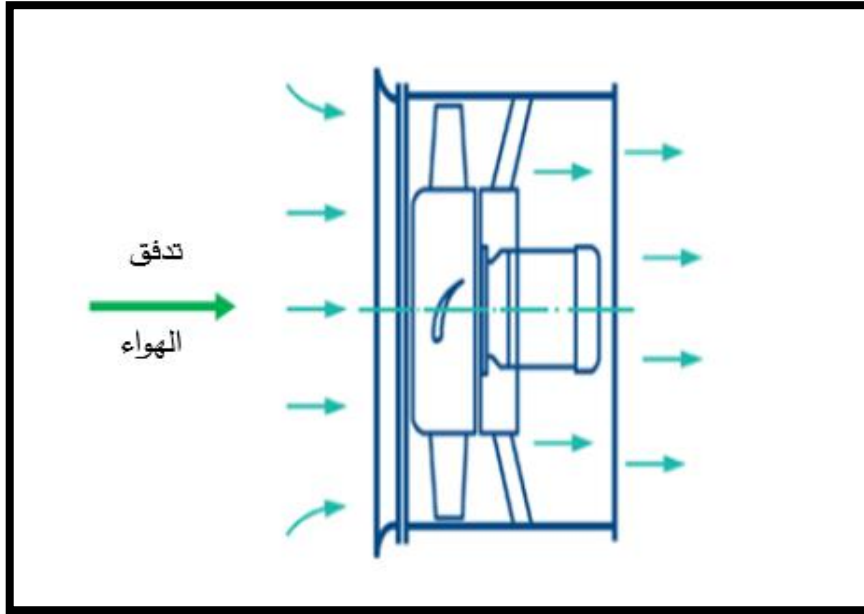


الشكل 1.1 مروحة محورية

2 مبدأ التشغيل

تتكون مروحة الجريان المحوري من دوار يتكون عموماً من جنيحات يتراوح عددها من اثنين الى خمسين جنيح مثبت على المحور حيث يتم انشاء الجريان من خلال دوران العجلة حول محورها عن طريق نوع من انواع المحركات والذي غالباً ما يكون محركاً كهربائياً.

في المراوح المحورية، يتم سحب المائع (الهواء عادةً) وتفرغته في اتجاه محوري موازٍ لمحور المروحة، وذلك بسبب حركة دورانها. حيث يتم تصميمها بطريقة تنتج فرقاً في الضغط وذلك لتحريك الهواء من منطقة ذات ضغط عالٍ إلى منطقة ذات ضغط منخفض. وبسبب أن المائع يعمل بسرعة منخفضة حيث يوافق عدد ماك أصغر من القيمة 0.3، فإن التغير في كثافته يمكن اعتباره ضئيلاً ولا يؤثر على أداء المروحة.



الشكل 2.1 رسم تخطيطي يوضح جريان الهواء داخل مروحة محورية

وفقاً لجمعية المهندسين الميكانيكيين الأمريكية (ASME) ، تتميز المراوح المحورية بنسبة انضغاط يتجاوز 1.11 Pa، وهي تختلف عن الأجهزة الأخرى مثل النافخات والضواغط في مستوى ارتفاع الضغط التي تولده. يكون الارتفاع في مستوى الضغط الناتج عن المروحة المحورية عادةً أقل من الارتفاع الناتج عن النافخات والضواغط، مما يجعل المراوح المحورية أكثر ملاءمة للتطبيقات التي تتطلب تدفقاً عالياً وارتفاعاً للضغط منخفضاً. كفاءة المروحة المحورية تعتمد على العديد من العوامل المختلفة، بما في ذلك التصميم الهندسي ونوعية المواد وحالة العمل والتركيب. [1]

جدول 1-1 الفرق بين الضواغط والمراوح والنافخات

| النوع | نسبة الانضغاط | ارتفاع الضغط [Bar] |
|----------|------------------|--------------------|
| المراوح | أكبر من 1.11 | 0.11 |
| النافخات | من 1.11 إلى 1.20 | 0.11 – 0.20 |
| الضواغط | أعلى من 1.20 | 0.20 و أكثر |

3 استعمالات المروحة المحورية

تستخدم المراوح المحورية على نطاق واسع في التطبيقات التي تتطلب تدفقات عالية وضغوطاً منخفضة. نجدها في مجالات التهوية وتكييف الهواء في شبكات النقل الجوفية والمناجم والمباني، بالإضافة إلى مجموعة واسعة من الصناعات من محطات الطاقة إلى أبراج التبريد ومصانع الصلب والعديد من الأنشطة الصناعية الأخرى. يتضمن كل تطبيق نوعاً معيناً من المراوح للتعامل مع متطلبات النظام، وبالتالي يتم تقسيم المراوح المحورية إلى أربعة أنواع بناءً على الاستطاعة المناسبة لكل منها في هذا الصدد.

4 أنواع المراوح المحورية

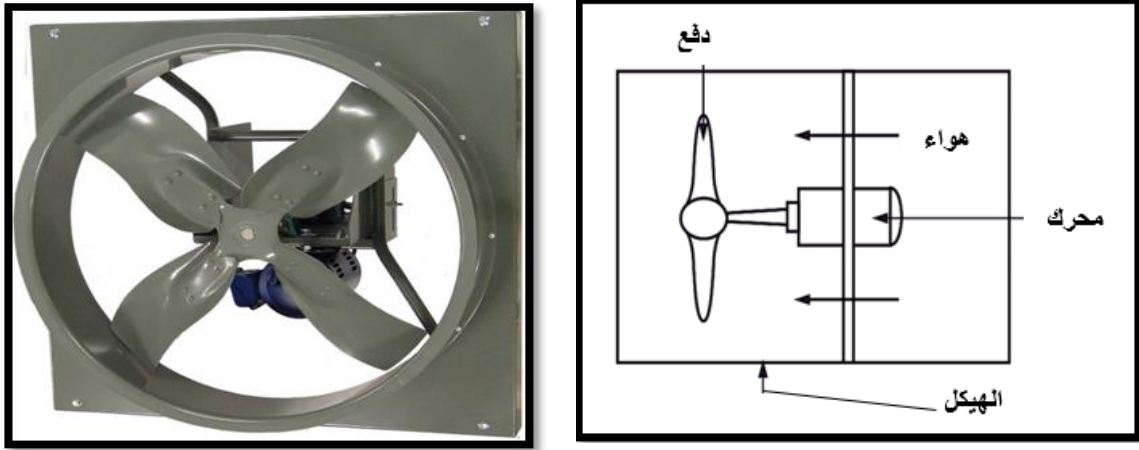
تنقسم المراوح المحورية الى أربع أنواع:

1.4 مراوح الدفع: Propeller fan

مراوح الدفع تستخدم لدفع كميات كبيرة من الهواء عند ضغط ساكن منخفض جدا أو يكاد يكون منعدما.

تستعمل هذه المراوح داخليا كمراوح شفط، وتستعمل خارجيا في تبريد المكثفات في المكيفات وأبراج التبريد.

كفاءة هذه المراوح صغيرة جدا حوالي 50% أو أقل. [2] [3]



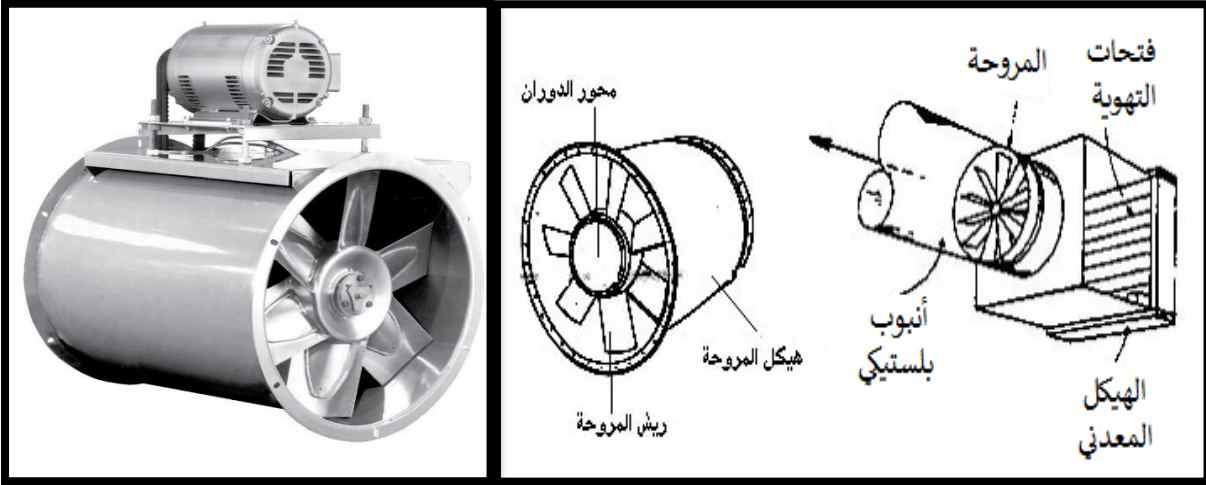
الشكل 3.1 رسم تخطيطي لمروحة دفع محورية النوع (اليمن) مروحة دفع محورية (يسار)

2.4 مراوح محورية أنبوبية: Tube axial fan

يوجد جسم هذا النوع من المراوح والمحرك الكهربائي للمروحة داخل مجرى هوائي وذلك لزيادة كفاءة

المروحة، وتكون سرعتها دائما أكبر من مراوح الدفع، مما يجعلها تعمل عند ضغوط تتراوح ما بين 250 -

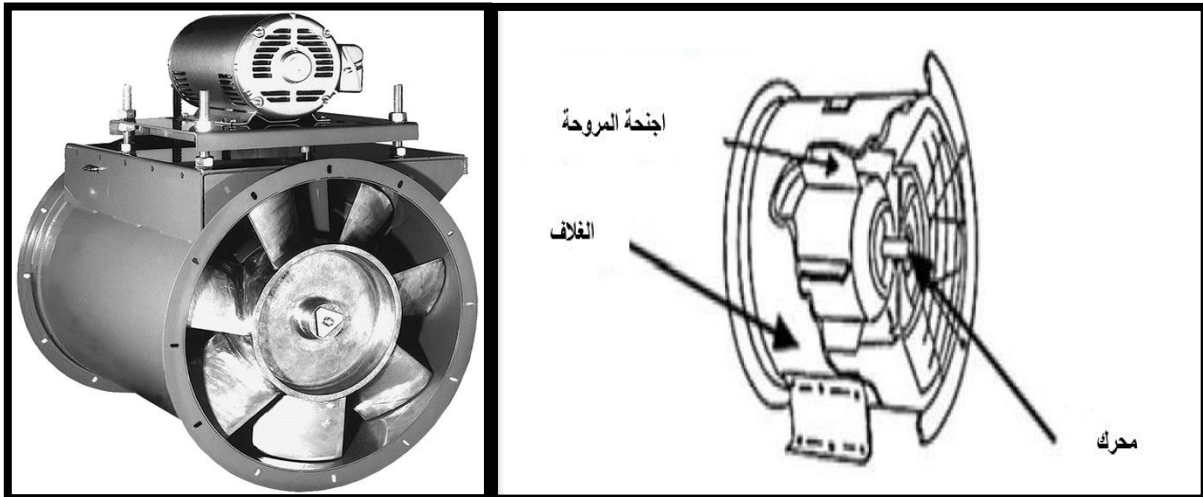
400 Pa، بينما كفاءتها قد تصل الى 65%. [2] [3]



الشكل 4.1 رسم تخطيطي للمروحة المحورية الانبوبية (اليمين)، المروحة المحورية الانبوبية (اليسار).

3.4 مراوح محورية بشبكة توجيهه: Vane axial fan

وهي أكثر المراوح كفاءة واستخداما في انظمة التكييف HVAC، وهي تتشابه مع المراوح المحورية الأنبوبية، مع اضافة شبكة جنبيحات لتوجيه الهواء، وهذه المراوح تستعمل لضغوط قد تصل الى 500 Pa. وتعتبر المراوح المحورية بشبكة التوجيه من أكثر المراوح كفاءة.

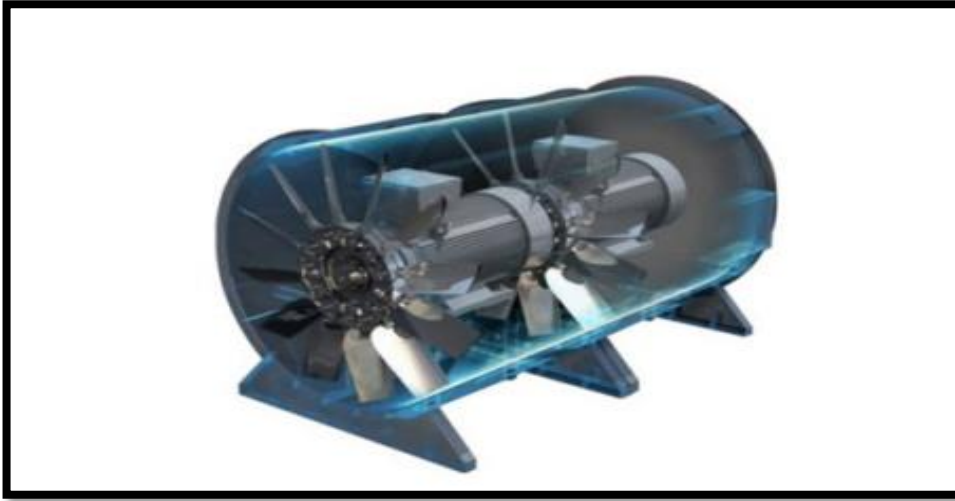


الشكل 5.1 رسم تخطيطي للمروحة المحورية بشبكة توجيهه

يتواجد في هذا النوع أجنحة يتم تركيبها قبل أو بعد المروحة مسؤولة عن ضبط زاوية المدخل لجريان الهواء الوارد وذلك للتخلص من الفقد الذي يحصل في الضغط عند دورانه في نطاق واسع. وبالمقارنة مع أنواع المراوح السابقة، تستطيع مراوح المحورية ذات شبكات التوجيه توصيل معدلات تدفق أعلى وتوليد زيادة في الضغط الاستاتيكي بنسبة أكبر تتراوح بين 0.5 و 0.8. [2] [3]

4.4 مراوح محورية ذات مرحلتين : Two-Stage Axial Fans

تتكون المراوح المحورية ذات المرحلتين من مروحتين على التسلسل بحيث يتم إضافة الضغوط إلى بعضها. يعد هذا الحل سهلاً عند الحاجة إلى ضغوط ثابتة أعلى. قد تدور عجلات المروحتين في نفس الاتجاه، ويكون بينهما موجّهات الهواء، أو يمكن أن تدور في اتجاه معاكس، دون أي موجّهات الهواء. في النظام الأول، تعمل كل من المراوح المكونتين من محركين منفصلين أو محرك واحد ذو محور مزدوج وضع بين المرحلتين. توجد مرشحات الهواء الثابتة بين عجلات المراوح المكونتين لتلتقط جريان الهواء اللولبي الناتج عن جنّيات الدوار في الطابق الأول وتعكس المكون الدوراني إلى الاتجاه المعاكس، حيث تتباطأ سرعة الهواء أولاً ثم تتسارع مرة أخرى. أي أنها تعمل كموجّهات عند المخرج للمرحلة الأولى وعند المدخل للمرحلة الثانية. في المقابل، في النظام الثاني، تعمل عجلات المروحتين المكونتين في اتجاهات متعاكسة وتدار بواسطة محركين منفصلين. [2] [3]



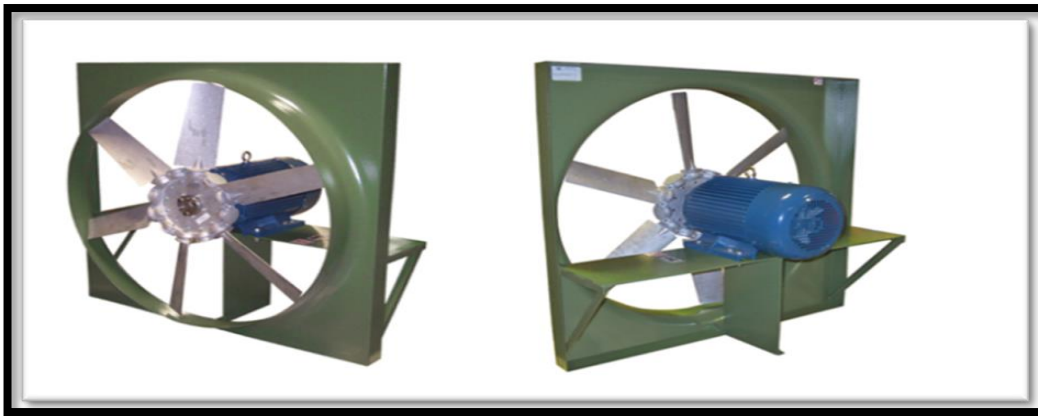
شكل 6.1 مروحة محورية ذات مرحلتين

5 طريقة ربط المروحة بالمحرك

يوجد نوعان من الربط وذلك بحسب طريقة الربط بالمحرك وهما ربط مباشر وربط غير مباشر.

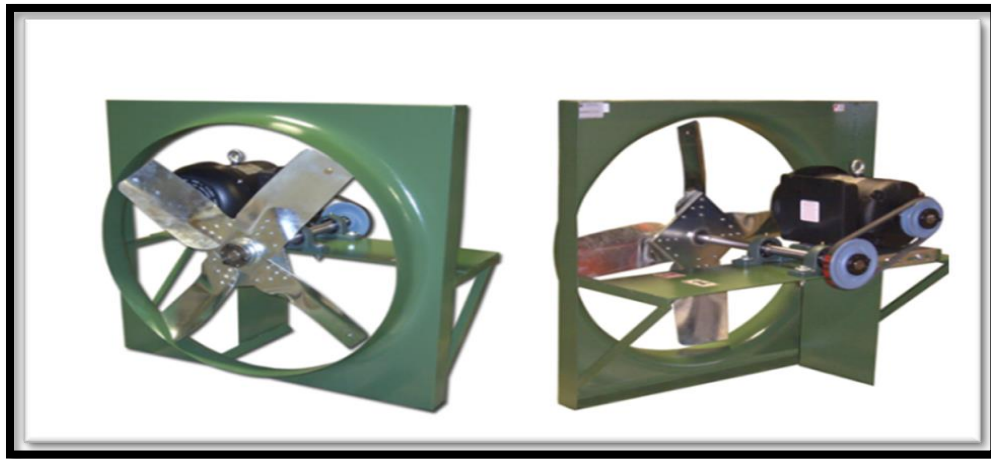
في الربط المباشر، يتم تثبيت المحرك الكهربائي مباشرة على الدوار للمروحة. ومن حيث الكفاءة، فإن

طريقة الربط المباشر أكثر كفاءة حيث لا يتم استهلاك طاقة إضافية عن طريق السيور والبكرات.



الشكل 7.1 مروحة الدفع بربط مباشر

في الربط الغير مباشر يتم نقل الحركة الدورانية للمحرك الكهربائي باستخدام سيور وبكرات. يوفر هذا الاخير مرونة في أدائه حيث يمكن الحصول على العديد من سرعات دوران للعجلة الدوارة عن طريق اختيار البكرات، كما يفضل استخدامه في الأحجام الكبيرة حيث يحافظ على سرعة عجلة المروحة منخفضة أو متوسطة مع الحفاظ على سرعة المحرك عالية، مما يؤدي إلى تكاليف أقل حيث إن المحركات ذات السرعات العالية أقل تكلفة من المحركات ذات السرعات المنخفضة من نفس الاستطاعة.

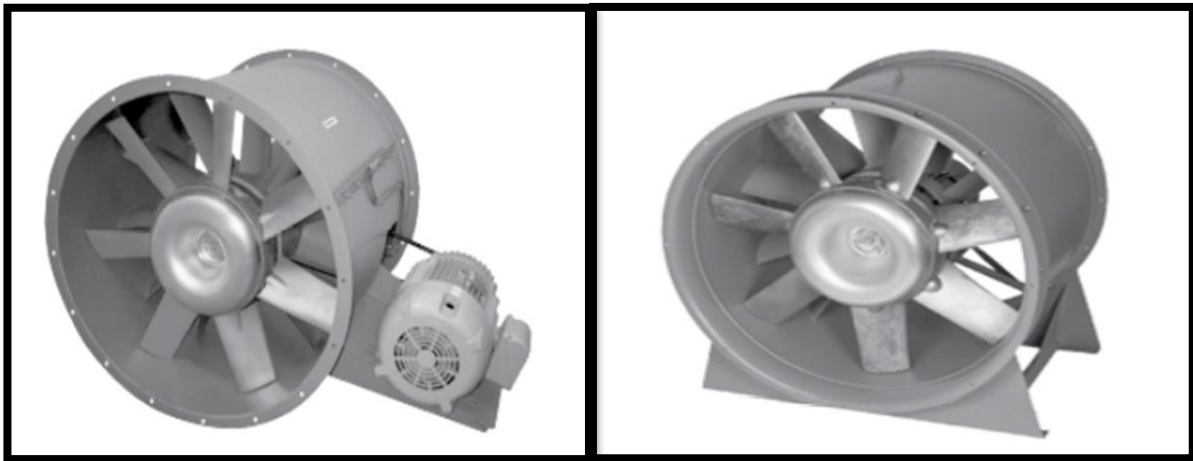


الشكل 8.1 مروحة دفع مزودة بسير

أما عن المرواح المحورية الانبوبية والمرواح ذات شبكة التوجيه فتتميزان بغلاف أسطواني خارجي يتم وضع محرك الدفع إما في الداخل أو على الجانب الخارجي، في حين يتم وضع المحرك في الحالة التي يستخدم فيها حزام الدفع خارج الغلاف. [1] [2]



شكل 9.1 المحورية مروحة الأنبوبية، ربط مباشر (اليمين)، ربط غير مباشر (يسار).

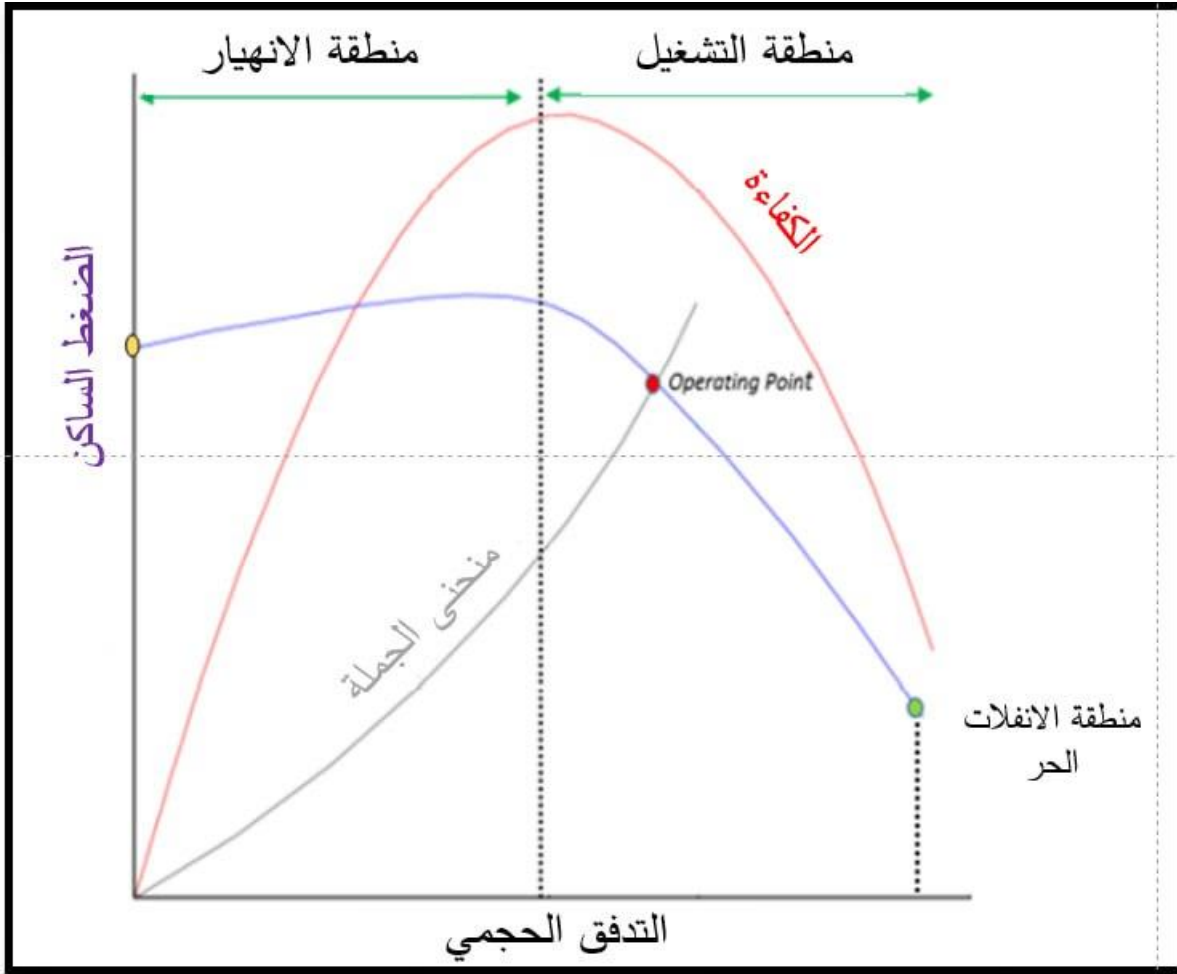


شكل 10.1 مروحة بشبكة توجيهه، ربط مباشر (اليمين)، ربط غير مباشر (اليسار).

6 أداء المروحة المحورية

تستخدم اختبارات محددة لتقييم أداء المروحة ذات الجريان المحوري. يتم إجراء هذه الاختبارات وفقاً لمجموعة من التوجيهات، ويتم إجراؤها في اختبارات مخبرية تحت ظروف محددة. تم تطوير التوجيهات الخاصة بهذه المروحة بمساعدة منظمة حركة الهواء والتحكم (AMCA) ومنظمة المهندسين الأمريكية للتدفئة والتبريد وتكييف الهواء (ASHRAE). يقومون بتطوير تقنيات قياس موحدة لحساب معدل جريان

الهواء للمروحة وزيادة الضغط واستهلاك الطاقة والكفاءة، وبالتالي تستخدم هذه العوامل لتشكيل منحنيات أداء المروحة. يتم عرض مثال لمنحنيات أداء مروحة جريان محوري في الشكل (11.1). [1]



شكل 11.1 أداء مروحة جريان محوري.

في الشكل أعلاه، يتم عرض شكل منحنى الضغط الساكن بدلالة التدفق الحجمي لمروحة محورية نموذجية. تبدأ من النقطة الحرة (أي عندما يصل معدل التدفق الحجمي إلى أقصى قيمة له بينما يقترب الضغط الثابت للمروحة من الصفر وفي المقابل يتزايد الضغط الثابت للمنظومة). تأتي نقطة التشغيل (نقطة التصميم) في تقاطع منحنى الأداء للمروحة مع منحنى المنظومة ويعتبر هذا النطاق هو الجيد للتشغيل. عندما ينخفض معدل تدفق الهواء بسبب زيادة المقاومة، تنخفض أيضًا سرعة الهواء المحورية، ونتيجة لذلك تزداد زاوية الهجوم ومعامل الرفع، مما يؤدي إلى زيادة الضغط عندما ينخفض معدل التدفق. وبالتالي،

تتحرك نقطة التشغيل على منحنى الضغط إلى اليسار، بينما يزداد الضغط إلى المجال المتعلق بالانحراف. وبعد المجال المتعلق بالانحراف، يبدأ الضغط الثابت في الانخفاض، وبالتالي فإن المروحة لم يعد بإمكانها

العمل بكفاءة [4].

الفصل الثاني

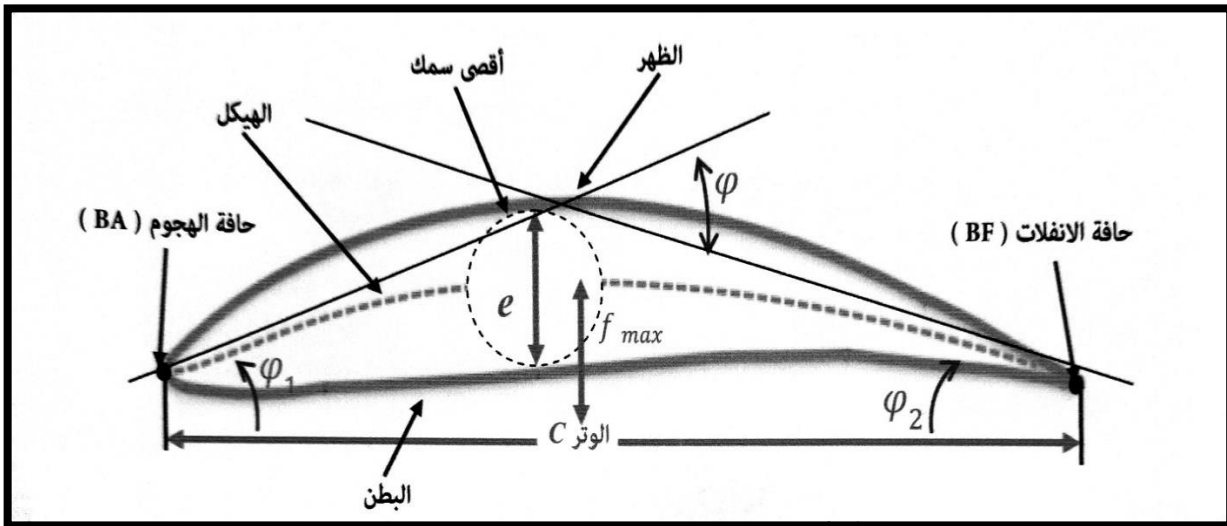
تصميم مروحة جريان محوري

1 مقدمة:

الهدف الرئيسي من التصميم هو إيجاد الشكل الهندسي الايروديناميكي للأجنحة المكونة للمروحة ذات الجريان المحوري بحيث كل جزيئات المائع المارة عبر الدوار تشارك في التبادل الطاقوي مع الحفاظ على اقل قدر من الضياعات التي لا يمكن تفاديها.

1.1 الخصائص الهندسية للجنيح معزول

إن دراسة جنيح معزول تختلف عن دراسة الجنيح داخل شبكة جنيحات حيث يوضح الشكل أهم الخصائص الهندسية للجنيح المعزول



الشكل 1.2 الخصائص الهندسية لجنيح معزول

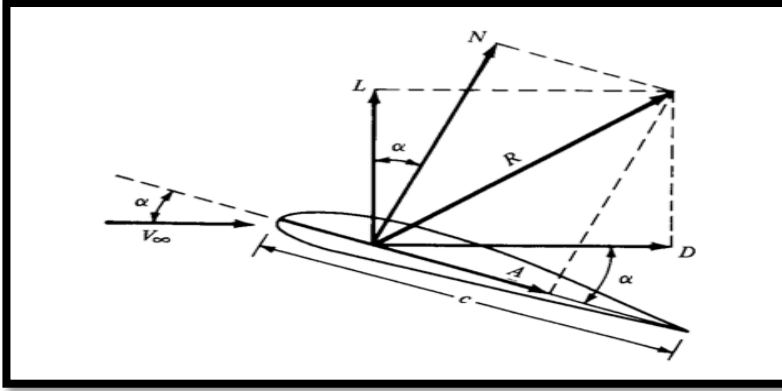
- حافة الهجوم (Leading edge): وتسمى أيضا حافة الاقترام وتكون عبارة عن نقطة في الهيئة ثنائية وخط في الهيئة ثلاثية البعد و تقع في مقدمة الجنيح، حيث أنها اول جزء يلامس المائع خلال الحركة.
- حافة الانفلات (Trailing edge): هي آخر جزء يتم ملامسته من قبل المائع خلال الحركة وهي عبارة عن نقطة في الهيئة ثنائية و(خط في الهيئة ثلاثية البعد).

- الظهر (Upper side): ويعرف أيضا بجهة الامتصاص وهو الجزء العلوي من الجنيح يتخذ دائما شكل محدب.
- البطن (Lower side): هو الجزء السفلي من الجنيح ويكون ذو شكل مقعر ويسمى بجهة الضغط.
- الوتر C (Chord): هو الخط المستقيم الذي يمثل البعد بين حافتي الهجوم والانفلات.
- الهيكل (Mean camber line): ويسمى أيضا بخط التحذب الوسطي وهو عبارة عن مجموعة من النقاط تمثل مراكز دوائر مماسية لسطحي الجنيح.
- أقصى سمك e_{max} (Maximal thickness): ويمثل أكبر دائرة مماسية لسطحي الجنيح.
- الانحناء f_{max} (Camber): وهو أكبر مسافة عمودية مقاسة بين الوتر والهيكل.
- السمك النسبي (e_{max}/C) : وهو النسبة بين أكبر سمك لمقطع الجنيح وطول الوتر.
- التحذب النسبي الهندسي f_{max}/C (maximal Camber): وهو النسبة بين الانحناء وطول الوتر.
- التحذب الايروديناميكي (C_{∞}) : يمثل معامل الرفع للجنيحات المعزولة يقاس عند زاوية الهجوم المعدومة، حيث تعطى علاقته بدلالة التحذب النسبي الهندسي كالتالي:

$$C_{\infty} = \frac{\frac{f_{max}}{C}}{K} \quad (1.2)$$

حيث K معامل خاص بمجموعة NACA65 ويساوي [5].5.515

1.1.1 القوى المؤثرة على جناح معزول



❖ N : القوة الناعمية.

❖ A : القوة المحورية.

❖ L : قوة الرفع (Lift) تكون

عمودية على حامل شعاع

السرعة \vec{V}_∞ .

الشكل 2.2 القوى المؤثرة على جناح معزول

❖ D : قوة الجر (Drag) هي قوة معيقة للحركة وتكون موازية لحامل شعاع السرعة \vec{V}_∞ .

من الشكل السابق يمكن كتابة قوة الرفع والجر بدلالة معامليهما:

$$L = \frac{1}{2} C_L b c \rho V_\infty^2 \Rightarrow C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} b c \rho V_\infty^2} \quad (2.2)$$

$$D = \frac{1}{2} C_D b c \rho V_\infty^2 \Rightarrow C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} b c \rho V_\infty^2} \quad (3.2)$$

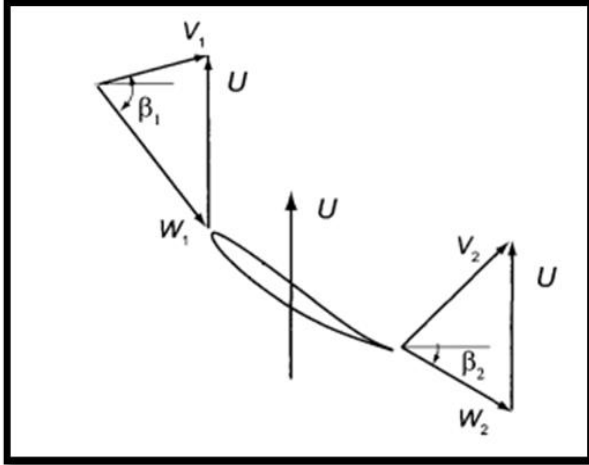
- C_D, C_L : هما معاملا قوتي الجر والرفع على الترتيب.

- b : طول الجناح. - c : الوتر.

- V_∞ : سرعة الهواء. - ρ : الكتلة الحجمية للهواء.

2.1.1 مثلث السرعات الخاص بالجناح المعزول

يوجد مثلثي سرعة واحد خاص بمدخل الجناح (1) والثاني خاص بمخرجه (2)



الشكل 3.2 مثلث السرعات الخاص بالجنح المعزول

- V_1, V_2 : السرعة المطلقة عند المدخل والمخرج.

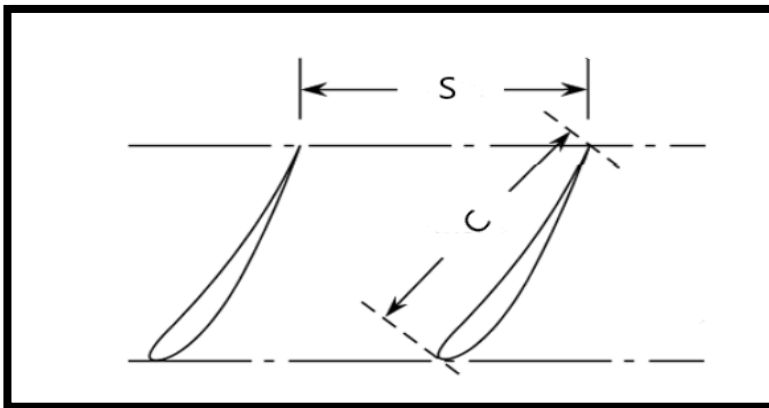
- U : السرعة الدورانية للعجلة (سرعة الجر).

- W_1, W_2 : سرعة الجريان النسبية عند المدخل والمخرج.

- β_1, β_2 : زاوية الدفع عند المدخل والمخرج.

2.1 الخصائص الهندسية لجنح داخل شبكة جنيحات

إن التفاعل بين أجنحة المروحة المحورية يؤثر على تصميمها. عادة ما تتأثر قوى الرفع والجر التي يتم التحصل عليها من حركة الهواء على الأجنحة المثبتة على العجلة الدوارة في حالة وجود عدد معتبر من الأجنحة. إن المسافة التي تتواجد بين جنحين متتاليين تسمى بخطوة الشبكة S والتي تقاس إما بين حافتي هجوم أو حافتي انفلات لجنحين متتاليين وهي موضحة كما في الشكل التالي:



❖ C (chord): الوتر

❖ S (Pitch): خطوة الشبكة

الشكل 4.2 الخصائص الهندسية لجنح داخل شبكة جنيحات

في الغالب هناك علاقة تربط بين وتر الجنيح (Chord) وخطوة الشبكة (Pitch) وتسمى بصلابة الشبكة هذه العلاقة يتم استخدامها للتعرف على تأثير الاجنحة على بعضها البعض ويتم كتابتها كآتي:

$$\text{blade solidity} = \sigma = \frac{c}{s} \quad (4.2)$$

أما عن خطوة الشبكة فيتم حسابها كآتي:

$$S = \frac{2\pi R_m}{Z_b} \quad (5.2)$$

• Z_b : عدد الاجنحة (numbers of blades).

• R_m : هو متوسط نصف قطر المروحة (Mean radius of the fan) ويحسب بالعلاقة التالية :

$$R_m = \sqrt{\frac{R_t^2 + R_h^2}{2}} \quad (6.2)$$

حيث: - R_t : نصف قطر الرأس (Tip radius).

- R_h : نصف قطر الجذر (Hub radius).

3.1 المقاربات المستعملة في تصميم المراوح

- هناك ثلاث مقاربات يتم استعمالهم في تصميم المروحة المحورية:

• مقارنة الجنيح المعزول (Isolated airfoil approach).

• مقارنة الجنيح المعزول المعدلة (Modified isolated airfoil)

• مقارنة شبكة جنيحات (Cascade approach).

- يمكن تحديد التصميم المستخدم في تصميم الجناح عن طريق حساب صلابته.

- بعد الدراسة التي قام بها Castegnaro لفحص استخدام الصلابة في تحديد مقارنة التصميم وجد أن:

✓ مقارنة الجنيح المعزول: تستعمل في صلابة منخفضة التي تقل عن 0.7 ($\sigma < 0.7$).

✓ مقارنة الجنيحات المتعاقبة: صالحة للصلابة العالية التي تفوق 1 ($\sigma > 1$).

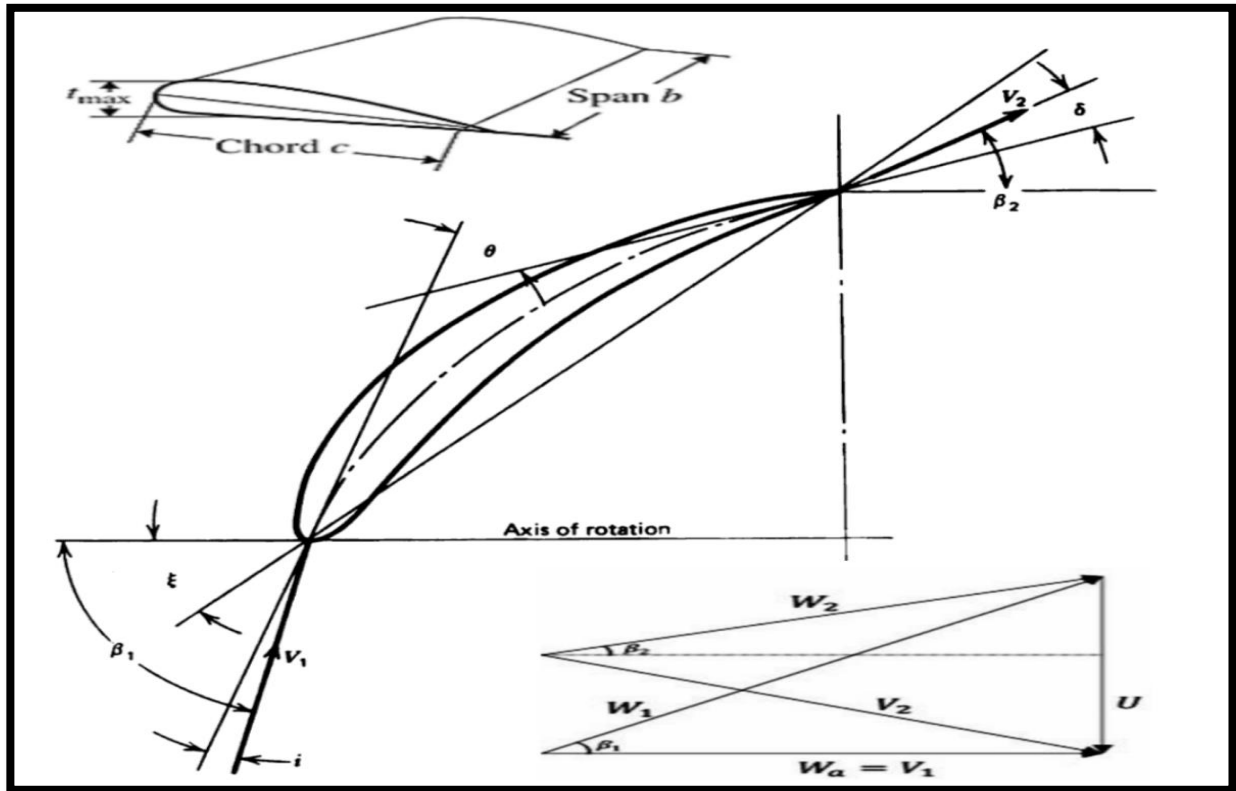
✓ وهناك مقارنة مختلطة يتم استعمالها في المجال $0.7 < \sigma < 1$.

1.3.1 مقارنة الجنيح المعزول

تم هذه العملية عن طريق انشاء حجم مراقبة (control volume)، يتم تطبيق حقل جريان على حجم

المراقبة هذا فنلاحظ أن الجنيح تحت تأثير بعض القوى وهي قوى اللزوجة وقوى توزيع الضغط ويمكن

توضيحها في الشكل الآتي:



الشكل 5.2 خصائص الجنيح في مقارنة الجنيح المعزول

للـ θ : زاوية تحذب الجناح $\theta = \beta_{b1} - \beta_{b2}$ حيث β_{b1} و β_{b2} زوايا مدخل ومخرج الجنيح.

للـ ξ : زاوية التثبيت $\xi = \beta_m - \alpha$ حيث β_m زاوية الجريان الوسطى و α زاوية الهجوم.

للـ i : زاوية الورود عند المدخل $i = \beta_1 - \beta_{b1}$ حيث β_1 زاوية دخول الجريان.

للـ δ : زاوية الانحراف عند المخرج $\delta = \beta_2 - \beta_{b2}$ حيث β_2 زاوية خروج الجريان.

للـ b : طول الجناح ؛ C : الوتر ؛ t_{max} : السمك الاعظمي.

للـ U : السرعة الدورانية للعجلة (سرعة الجر).

للـ W_1, W_2 : سرعة الجريان النسبي عند المدخل والمخرج.

للـ V_1, V_2 : السرعة المطلقة عند المدخل والمخرج.

✓ انطلاقا من مثلثات السرعة الموضحة في الشكل أعلاه يمكن حساب معاملات كل من الرفع والجر:

$$\tan\beta_m = \frac{1}{2} (\tan\beta_1 + \tan\beta_2) \quad (7.2)$$

$$C_L = 2 \left(\frac{S}{C} \right) (\tan\beta_1 - \tan\beta_2) \cos\beta_m \quad (8.2)$$

$$C_D = 2 \left(\frac{S}{C} \right) \left(\frac{\Delta p}{\rho W_1^2} \right) \quad (9.2)$$

Δp : الفرق في الضغط (Total pressure difference) - β_m : زاوية الجريان.

✓ تؤثر معاملات الرفع والمقاومة (الجر) على أداء مراوح الجريان المحوري، حيث كلما زادت نسبة

الصلابة تبدأ حقول الضغط الخاصة بالأجنحة بالتأثير على بعضها البعض، ففي هذه الحالة تختلف

قيمة الرفع الفعلية (الحقيقية) التي تحصل عليها الاجنحة عن القيمة النظرية، لذلك فان مقارنة الجنيح

المعزول لا تكفي لإنشاء مروحة فعالة لها صلابة عالية. [4]

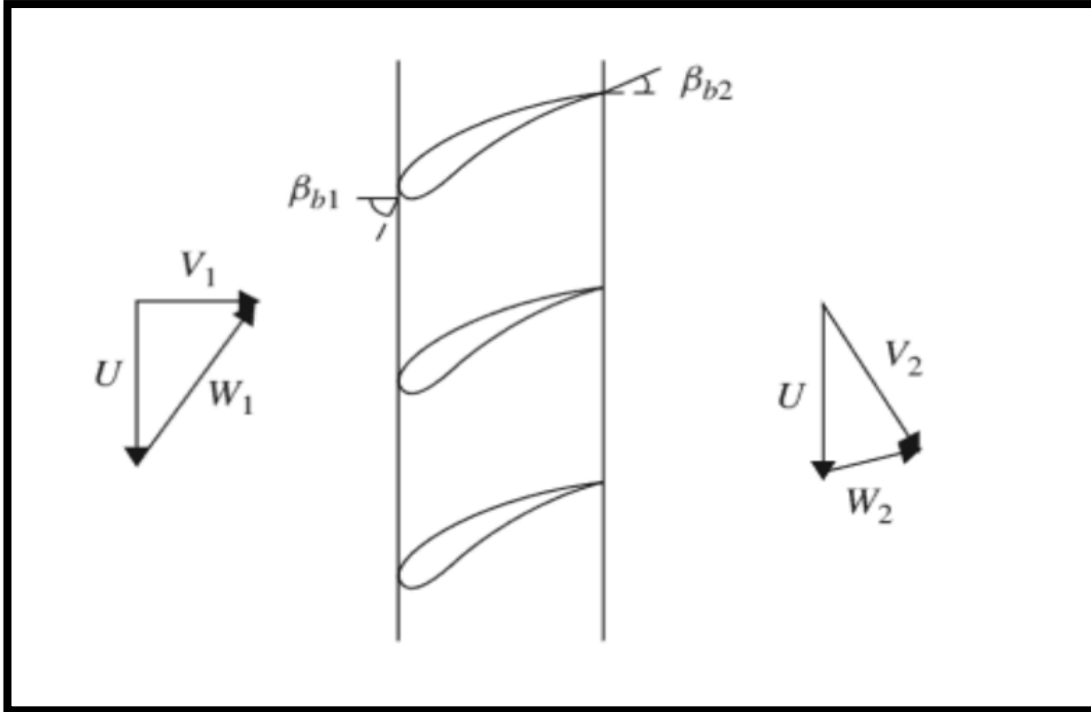
2.3.1 مقارنة شبكة جنيحات (Cascade approach)

يتم استعمال هذه المقاربة في حالة المراوح ذات الصلابة العالية ($\sigma > 1$) وزوايا انحراف منخفضة كما هو موضح في الشكل (2-6)، تتم العملية في شبكة جنيحات تتباعد عن بعضها ببعده متساوي S . تهتم مقارنة شبكة الجنيحات بإنحراف الجريان عبر الجنيح بدلا من التركيز على قوة الرفع المتوافقة مع كل جنيح. من أهم المتغيرات الرئيسية في هذه المقاربة زاوية انحراف الجريان ε ، زاوية تحذب الجناح θ ، والصلابة σ ، زاوية الورود i ، زاوية الانحراف عند المخرج δ .

$$\theta = \frac{\varepsilon - i}{1 - m(S/C)} \quad (10.2)$$

يتم استخدام المعادلة (10.2) للحصول على قيمة أولية لزاوية التحذب θ :

$$\gamma = (\beta_1 - i) - \frac{\theta}{2} \quad (11.2)$$



الشكل 6.2 خصائص الجناح في مقارنة شبكة الجنيحات

3.3.1 مقارنة الجنيح المعزول المعدلة (Modified isolated airfoil)

بعد دراسة المقاربة السابقة وجد أن تفاعلات الضغط التي تمر على الجناح تتأثر بخطوة الشبكة (S) والوتر (C) وزاوية التحذب (θ) فتؤدي إلى تغيير في معامل الرفع الفعلي (معامل الرفع لجنيح معزول)، وبالتالي تغيير في كفاءة المروحة المحورية.

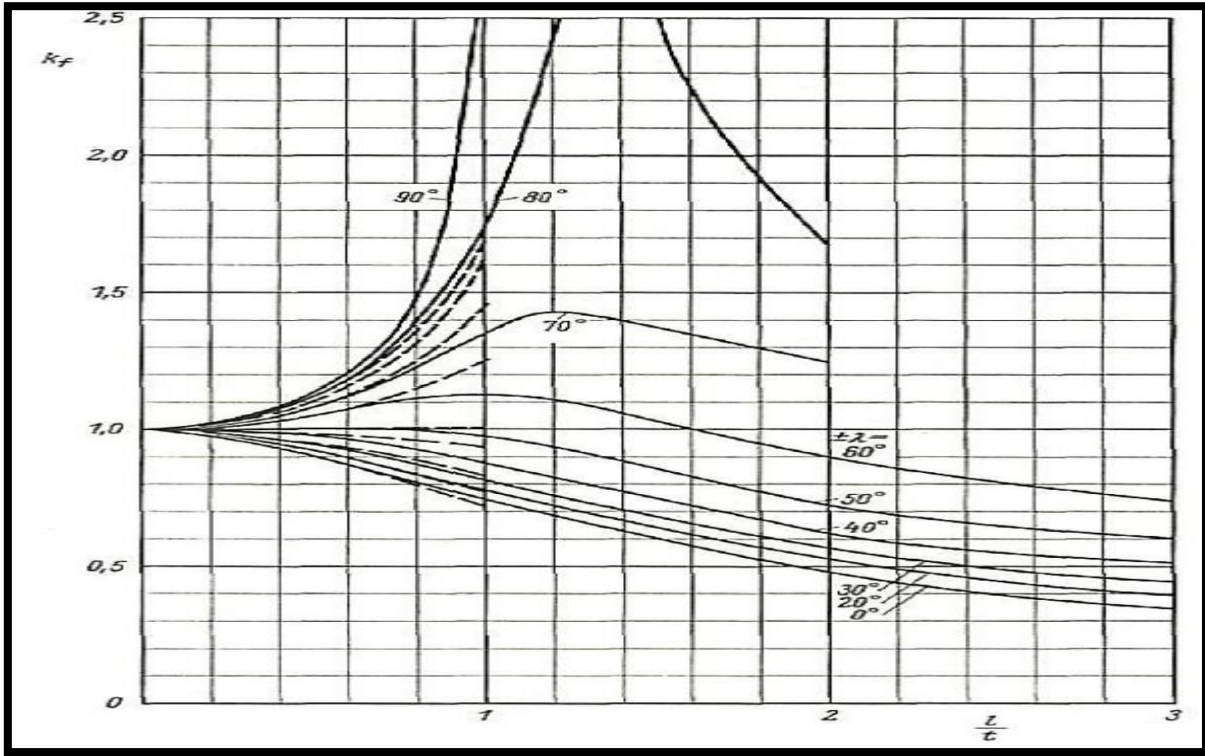
ومن أجل التخلص من هذا التغيير وجد سكولز (Scholz) علاقة بين معامل الرفع الفعلي ومعامل الرفع المتأثر، ووفقاً لهذه الدراسة وجد أن هناك نسبة تربط بين هاذين المعاملين تسمى بمعامل تأثير شبكة الجنيحات (Cascad influence).

$$K_f = \frac{C_L}{C_{Li}} \quad (12.2)$$

✓ C_L : معامل الرفع في شبكة الجنيحات.

✓ C_{Li} : معامل رفع الجنيح المعزول.

من المنحنيات التي بالأسفل نجد أنه عند يقترب معامل صلابة الجناح من الصفر يتقارب معامل تأثير شبكة الجنيحات K_f من القيمة واحد، وهذا يعني أن قيمة معامل الرفع التي تم الحصول عليها من مقارنة الجنيح المعزول أدق من نتيجة شبكة الجنيحات في الصلابة التي تقل عن 0,7 ($\sigma < 0,7$).



الشكل 2-7 منحنيات معامل شبكة الجنيحات بدلالة الصلابة

توضح المنحنيات المبينة في الشكل العلاقة بين صلابة الجناح وزاوية تثبيته. عندما تكون الصلابة محصورة بين 0،7 و 1 وتتيح لنا مقارنة الجنيح المعزول المعدلة تعديل معاملي الرفع والجر في الهيئة ثنائية البعد مما يؤدي الى تصميم أكثر دقة للمروحة. [6]

4.1 إنشاء تصميم أولي

في بداية كل عملية تصميم يجب معرفة بعض المعطيات (معطيات الادخال) لتصميم مروحة جريان محورية وهي:

جدول 1-2 معطيات الادخال

| | |
|---------------------------|---|
| Q_v [m ³ /s] | الجريان الحجمي |
| Δp [Pa] | الفرق في الضغط |
| ω [Rpm] | سرعة دوران العجلة وترتبط بسرعة دوران المحرك |

• التدفق الحجمي Q_v : يتم حساب هذا المقدار وفق العلاقة التالية:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad \text{حيث} \quad Q_v = V \cdot S \quad (13.2)$$

• الفرق في الضغط Δp : يعتبر الفرق في الضغط عامل أساسي لإنشاء مروحة محورية تعمل داخل نفق هوائي من النوع المفتوح ويتم حسابها عن طريق جمع الضياعات في الضغط التي تحدث في المنظومة وهي تنقسم الى نوعية ضياعات خطية وضياعات نوعية.

$$\Delta p_L = \frac{1}{2} \rho V^2 \frac{L}{D} \lambda \quad (14.2) \quad \text{الضياعات الخطية هي:}$$

$$\Delta p_s = 1/2 \rho V^2 (\xi_i + \xi_\theta) \quad (15.2) \quad \text{الضياعات النوعية هي:}$$

لل ρ : الكتلة الحجمية للمائع (الهواء).

لل V : سرعة المائع.

لل L : طول النفق الهوائي.

لل D : قطر النفق الهوائي.

لل λ : ثابت متعلق بالضياعات الخطية ويتم استخراجها من منحنيات مودي (Moody diagram)

وذلك بعد حساب ثابت رينولدز ومعرفة خشونة المادة التي صنع منها النفق. $Re = \frac{\rho V^2 D_h}{\mu}$

لل ξ_θ و ξ_i : هي ثابت الضياعات النوعية في مدخل ومخرج النفق.

1.4.1 الطريقة الأولى

1.1.4.1 منحنيات كورديار (Cordier Diagram)

بمجرد تحديد المتطلبات، يُمكن استخدام رسم Cordier للعثور على الأبعاد الأمثل. يستند هذا الرسم البياني إلى القياسات تجريبياً. يوفر علاقة بين معدل الجريان والضغط وسرعة الدوران والقطر. يحتوي رسم Cordier على سرعة الدوران σ على محور الفواصل والقطر النوعي δ على محور الترتيب. لذلك، من الضروري حساب السرعة σ باستخدام المعادلة التالية:

$$\sigma = 2n\sqrt{\pi} \frac{\sqrt{Q_v}}{(2y)^{0,25}} \quad (16.2)$$

حيث:

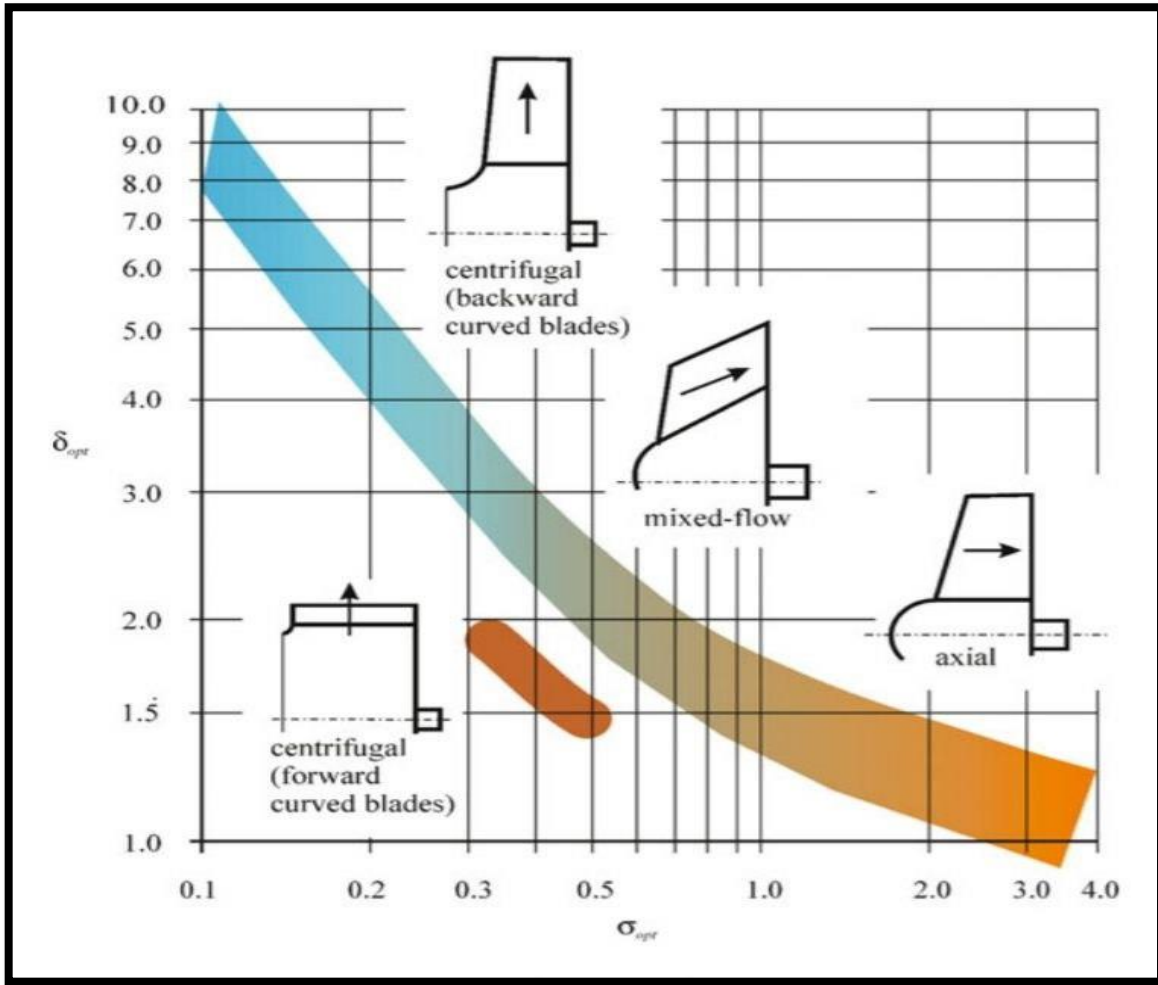
$$n = \frac{N}{60} \quad ; \quad y = \frac{\Delta p}{\rho_{air}} \quad (17.2)$$

بعد تحديد المدخلات الأساسية لبداية عملية التصميم يمكن استخدام منحنيات كورديار للحصول على أبعاد المروحة. حيث أن هذه المنحنيات تم التحصل عليها عن طريق قياسات تجريبية كما أن هذه المنحنيات هي علاقة بين القطر النوعية δ وسرعة الدوران σ .

بعدها يتم حساب سرعة الدوران النوعية بدلالة سرعة الدوران الفعلية N :

$$N_s = \frac{N\sqrt{Q_v}}{\left(\frac{\Delta p}{\rho_{air}}\right)^{0.25}} \quad (18.2)$$

من أجل حساب قطر النوعية المروحة يتم استخدام هذه الاسقاطات التجريبية:



الشكل 8.2 منحنيات كورديار

بعد مرحلة استخراج القطر النوعي يتم حساب قطر المروحة عبر العلاقة التالية: [6]

$$\delta = \frac{\sqrt{\pi}}{2} D_f \left(\frac{2y}{Q_v^2} \right)^{0.25} \quad (19.2)$$

2.4.1 الطريقة الثاني

دائما في بداية كل عملية تصميم يجب الاعتماد على معطيات أولية مثل سرعة الدوران والفرق في الضغط وكذا سرعة الدوران والقطر النوعيين. فهذه الطريقة مشابهة لتلك التي قبلها فهي تعتمد على منحنيات كورديار

الشكل (8.2).

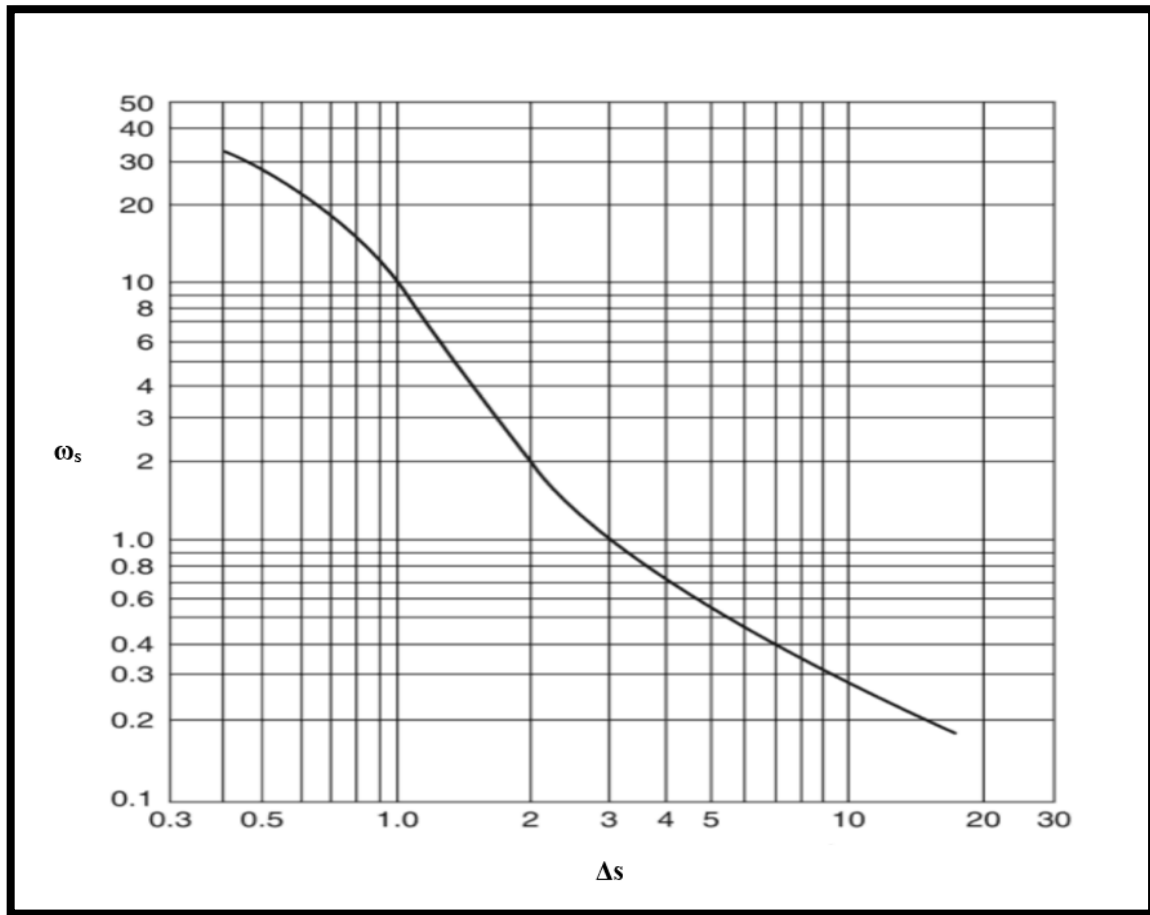
$$\omega_s = \frac{\omega \sqrt{Qv}}{(gH)^{0.75}} \quad (20.2)$$

ثم يتم حساب قطر المروحة بالمعادلة (2.21) بعد إيجاد قيمة ω_s من الشكل (9-2).

$$D_f = \frac{\Delta_s \sqrt{Qv}}{(gH)^{0.25}} \quad (21.2)$$

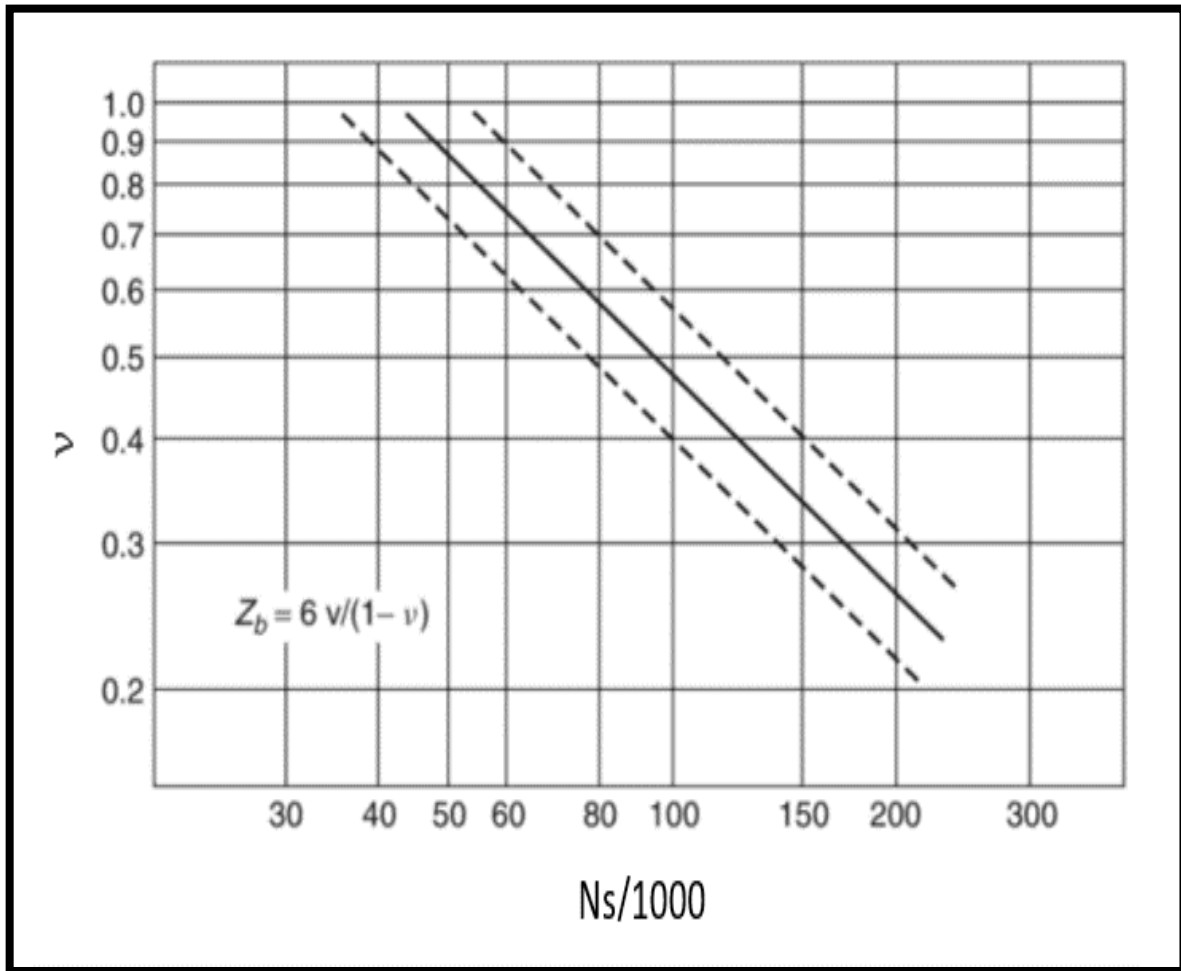
حيث:

$$gH = \frac{\Delta p}{\rho_{air}} \quad (22.2)$$



الشكل 9.2 منحنى سرعة الدوران النوعية بدلالة القطر النوعية

- يتم بعد الاستعانة بإحدى الطريقتين لإيجاد قطر المروحة نستعمل قانون سرعة الدوران النوعية N_s أو ω_s (الطريقة الثانية) للحصول على نسبة طرف الجذر للمروحة بعد ان تم الحصول على قطر المروحة في القانون السابق.
- بعد إيجاد قيمة سرعة الدوران النوعية يتم اسقاطها على بيانات متحصل عليها تجريبيا للحصول على نسبة طرف الجذر (hub tip ratio v).



الشكل 10.2 نسبة طرف الجذر بدلالة سرعة الدوران النوعية

بعد ايجاد النسبة من احدى الطريقتين يتم استخراج قطر جذر المروحة وعدد الاجنحة من العلاقتين

التاليتين: [6]

$$v = \frac{D_h}{D_f} \quad (23.2)$$

$$z_b = \frac{6v}{1 - v} \quad (24.2)$$

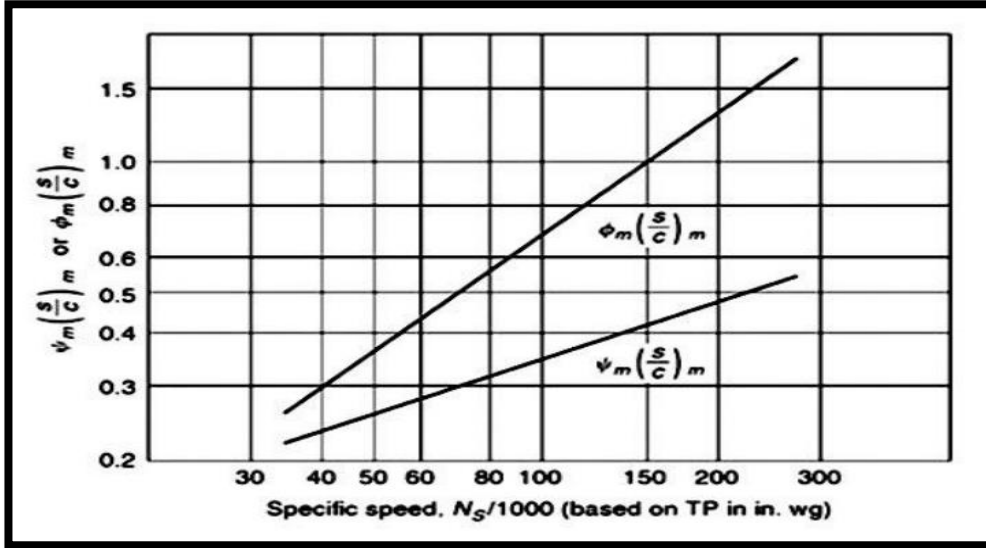
2 معاملات الضغط والتدفق

معاملات الضغط والتدفق هي المعاملات غير البعدية في مجال المروحة. يمكن استخدام هذه المعاملات لمقارنة المروحة بالمراوح الأخرى دون الحاجة إلى مقارنة ارتفاع الضغط الإجمالي ومعدلات التدفق الحجمي. إنها توفر سهولة في القياس نظرًا لكونها معاملات عالمية وحسابها بنفس الطريقة لجميع المراوح. يمكن حساب معامل الضغط، والذي يسمى أحيانًا معامل الضغط أو معامل العمل، للتدفق غير المضغوط بالشكل التالي:

$$\psi = \frac{\Delta p}{1/2 \rho V_a^2} \quad (25.2)$$

معامل التدفق مرتبط بسرعة الجريان المحورية (V_a) وسرعة الجريان المحيطية (U). يمكن الحصول على معامل التدفق كما يلي:

$$\phi = \frac{V_a}{U} \quad (26.2)$$



الشكل 11.2 السرعة النوعية بدلالة معاملي الضغط والتدفق

الشكل 2-11 يوضح العلاقات بين السرعة النوعية مقابل معامل التدفق والضغط. يمكن حساب طول

القطعة العرضية للجنيح باستخدام معامل التدفق أو معامل الضغط.

1.2 مخططات السرعة، زوايا التدفق وزوايا الاجنحة

يتم دراسة تدفق المائع والأجنحة في مستوى ثنائي الأبعاد في مقاربتى الجناح المعزول وشبكة جنيحات.

تُعتبر عدم وجود مكون للسرعة في الاتجاه الشعاعي واحتمال غياب المكون الثالث لسرعة المائع، وبالتالي

يمكن رسم ودراسة تدفق المائع وملامح الأجنحة في المستوى ثنائي الأبعاد

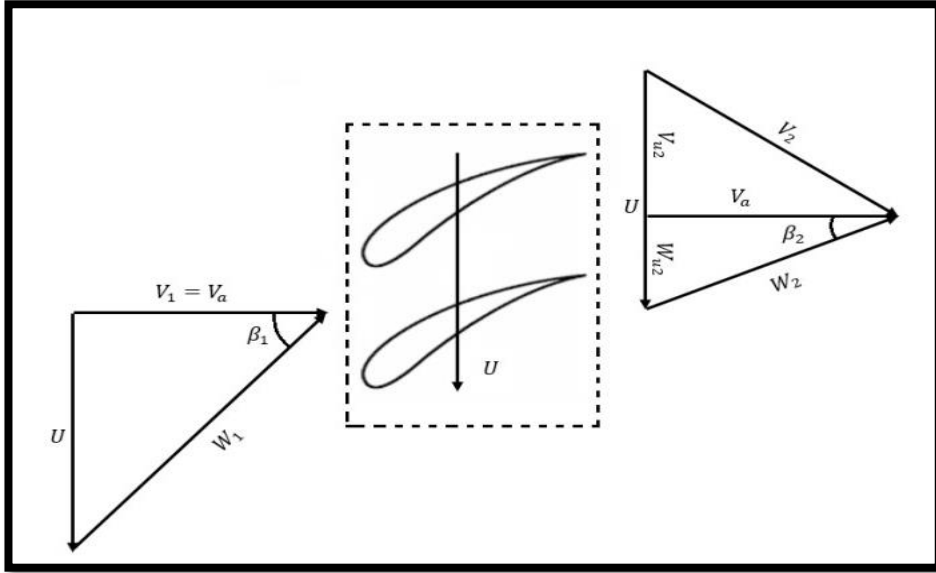
هناك افتراضان حول تدفق المائع. الافتراض الأول هو أنه يمكن تجاهل تأثير العائق الناجم عن مساحة

إسقاط الأجنحة. وبهذه الطريقة، يُعتقد أن المكون المحوري لسرعة تدفق المائع يكون ثابتاً عبر المروحة

بأكملها. الافتراض الثاني هو أن خاصية تدفق المائع يمكن اعتبارها تدفقاً حرّاً بمحور. يوفر هذا الافتراض

بساطة في الحسابات ويحقق كفاءة أكبر في تصميم المروحة. يمكن الحصول على الشكل 2.11 باستخدام

هذين الافتراضين .



الشكل 12.2 مثلثات السرعة

في مخطط السرعة في الشكل (12-2)، يتم عرض زوايا التدفق وزوايا الأجنحة. يمكن ملاحظة أن السرعة المحورية (V_a) ثابتة عبر المروحة المحورية. يمكن حساب زوايا التدفق وزوايا الأجنحة على النحو التالي:

$$\beta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{U}{V_a} \right) \quad (27.2)$$

$$\beta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{W_{u2}}{V_a} \right) \quad (28.2)$$

$$\beta_m = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \beta_1 + \tan \beta_2}{2} \right) \quad (29.2)$$

$$V_1 = V_A = \frac{Q}{\frac{\pi(D_f^2 - D_h^2)}{4}} \quad (30.2)$$

$$W_1 = \sqrt{V_a^2 + U^2} \quad (31.2)$$

$$U = \frac{\pi D N}{60} \quad (32.2)$$

$$W_{u2} = U - V_{u2} \quad (33.2)$$

$$V_{u2} = \frac{gH}{\eta_h U} \quad (34.2)$$

$$V_2 = \sqrt{V_a^2 + V_{u2}^2} \quad (35.2)$$

$$W_2 = \sqrt{V_a^2 + W_{u2}^2} \quad (36.2)$$

3 الضغوط والكفاءة

يتم حساب الضغط الديناميكي والكلي وكذا الاستاتيكي الناتجين عن دوران المروحة بالعلاقة الآتي ذكرها:

$$P_f = P_{t_{out}} - P_{t_{in}} \quad (37.2)$$

$$P_{df} = \frac{1}{2} \rho V_{a_{out}}^2 \quad (38.2)$$

$$P_{sf} = P_f - P_{df} \quad (39.2)$$

يتم حساب استطاعة المروحة وكفاءتها كالتالي:

$$P_{uf} = Q_v \cdot \Delta P \quad (40.2)$$

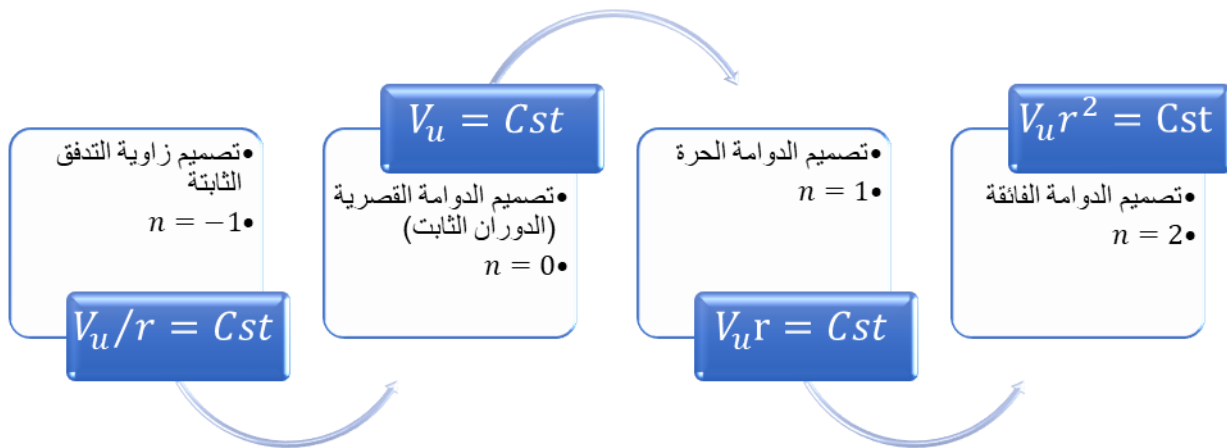
$$\eta_h = \frac{Q_v \cdot \Delta p}{T \cdot \omega} \quad (41.2)$$

4 تدفق الدوامات غير الحرة

في الغالب تنتج دوامات حرة في كل عملية تصميم. لذلك تم إيجاد طريقة الدوامات الغير حرة للتخلص من مشاكل التصميم الناتجة عن الدوامات الحرة، ويتم نمذجتها بالعلاقة التالية:

$$V_u r^n = Cst \quad (42.2)$$

وتنقسم لثلاثة أقسام وهي:



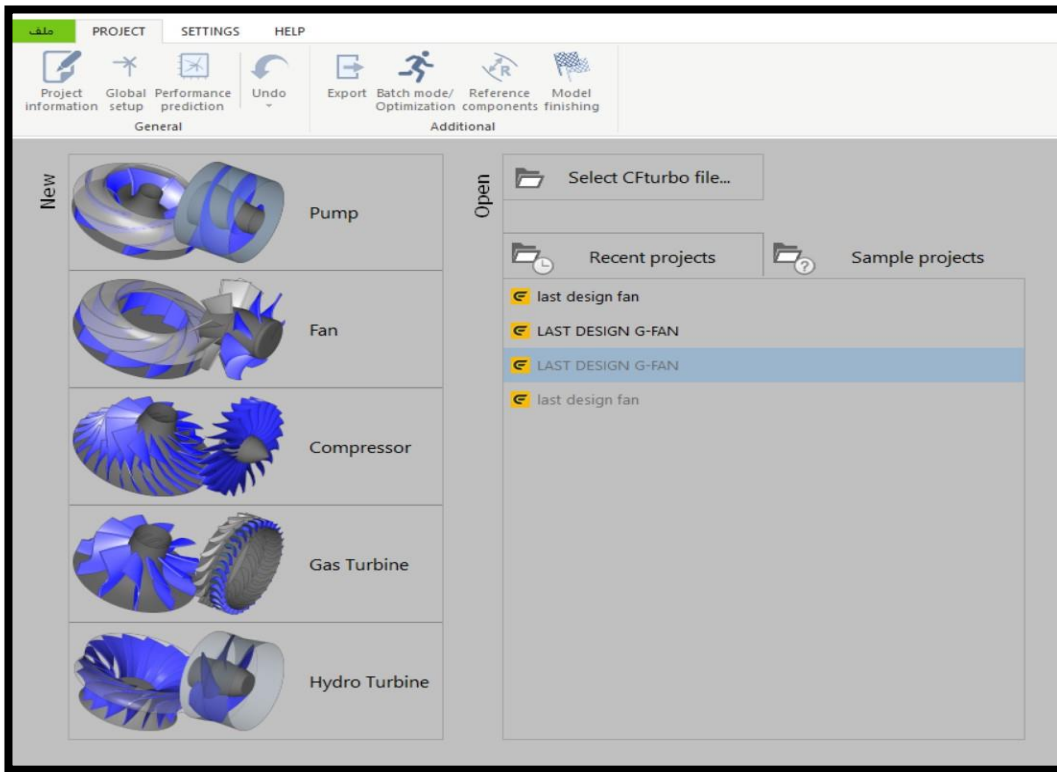
الفصل الثالث

تصميم المروحة بواسطة

CFTurbo

1 لمحة عامة عن برنامج CFTurbo

CFturbo هو برنامج حديث وقوي يستخدم لتصميم الآلات التوربينية (مضخات، مرواح، ضواغط وتوربينات) بشكل تفاعلي. يتيح للمستخدمين بدء تصميم جديد من الصفر أو إعادة تصميم نماذج موجودة في الواقع العملي. يتميز هذا البرنامج بالجمع بين المفاهيم و المعادلات الأساسية للتصاميم المرتبطة بالأيروديناميك و ميكانيك الموائع و العلاقات التجريبية المثبتة و النماذج الهندسية المتقدمة ، مما يجعله فعالاً في توفير نتائج دقيقة وسريعة. يتضمن البرنامج أيضاً عدة واجهات CAD و CFD المعتمدة لمعالجة الهندسة المصممة بشكل أفضل. يتم عرض الخيارات المتاحة لتصميم الآلات التوربينية المختلفة في النافذة الرئيسية للبرنامج، ويمكن للمستخدمين اختيار المدخلات المناسبة لاحتياجاتهم.



الشكل 3.1 الواجهة الرئيسية البرنامج

2 خطوات تصميم مروحة محورية بواسطة برنامج CFTurbo

1.2 تحديد قيم نقطة التصميم

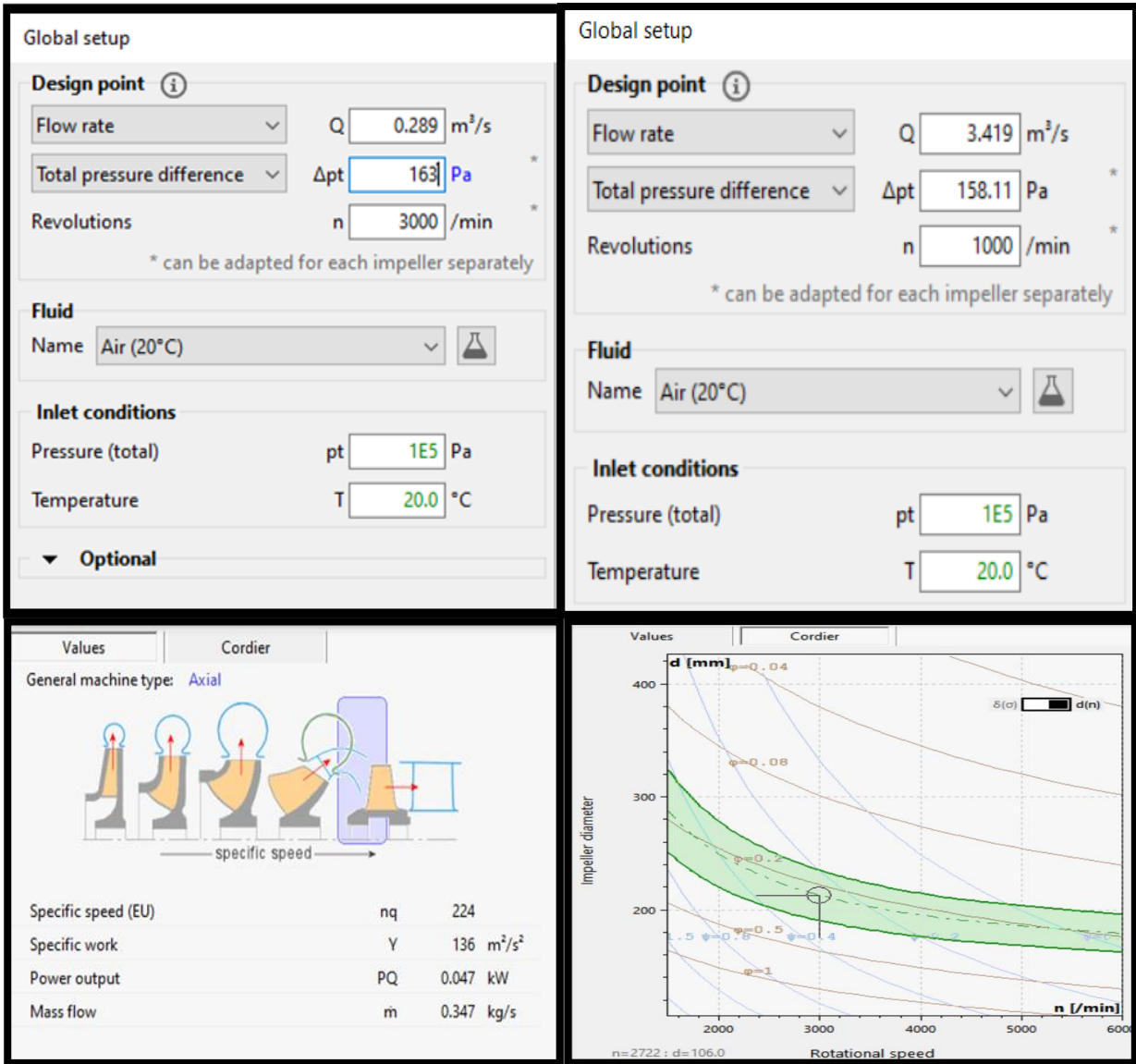
تبدأ الخطوة الأولى في تصميم المروحة بتعريف نقطة التصميم التي تتضمن معامل التدفق الحجمي والضغوطات في الضغط الإجمالي وسرعة الدوران، بالإضافة إلى خصائص المائع المستخدم. يتم تعريف نقطة التصميم كما هو موضح في الجدول التالي

جدول 1-3 قيم نقطة التصميم

| المروحة الصغيرة | المروحة الكبيرة | |
|-----------------|-----------------|---|
| 0.298 | 3.14 | التدفق الحجمي Q_v [m ³ /s] |
| 163 [pa] | 158 | الضغوطات في الضغط الكلي |
| 3000 | 1000 | سرعة الدوران [rpm] |

2.2 الإعدادات العامة:

في هذه المرحلة، يتم إدخال المتغيرات التصميمية في نافذة الخطوة العامة (Global step window)، كما هو موضح في الشكل (2-3)، والتي تشمل معدل التدفق الكتلي، خسارات الضغط وسرعة الدوران. من جهة أخرى، يتم عرض نوع الجهاز الذي يتوافق مع هذه الشروط، ويتم حساب أربع متغيرات هامة وهي: السرعة النوعية (nq)، العمل النوعي (Y)، الطاقة المولدة (PQ)، ومعامل التدفق الكتلي (m).

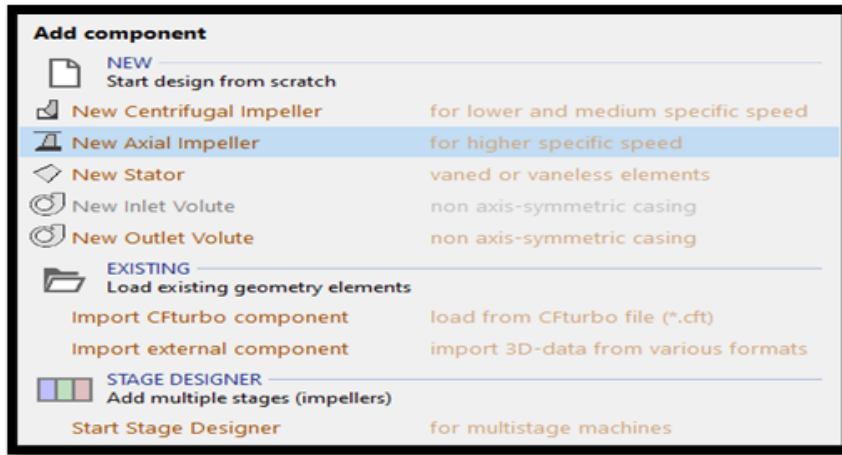


الشكل 2.2 مدخلات ومخرجات التصميم ونوع الآلة

3.2 تصميم الجزء الدوار

يُستخدم عنصر قائمة الأبعاد الرئيسية لتحديد الأبعاد الرئيسية للمكبس المحوري. تُعتبر هذه الأبعاد الرئيسية

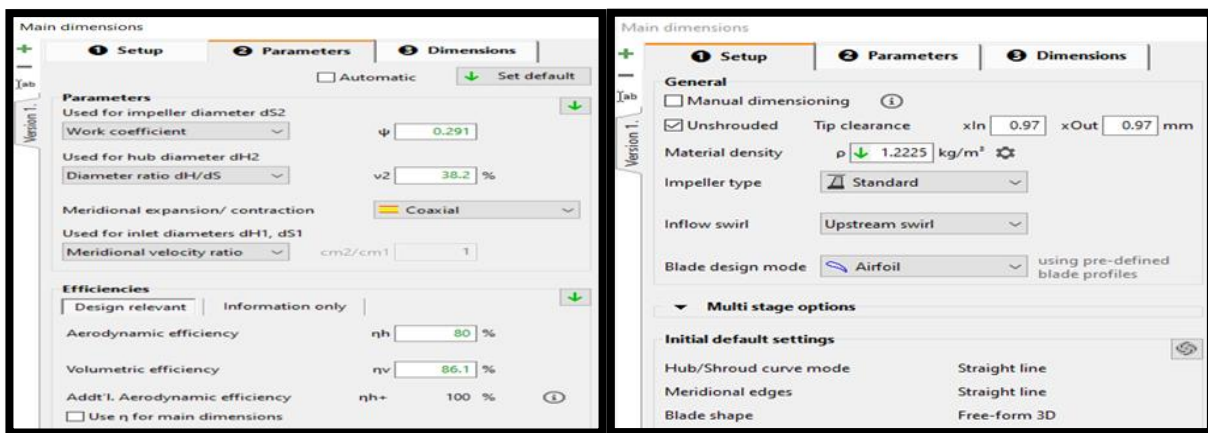
كأساس الأهمية القصوى لجميع خطوات التصميم التالي



الشكل 3.3 اختيار نوع العجلة

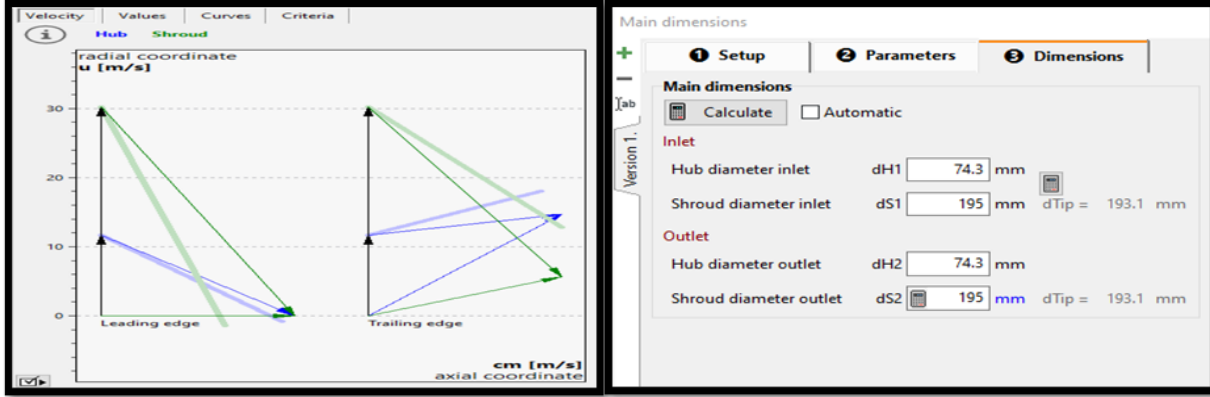
1.3.2 الأبعاد الرئيسية للعجلة الدوارة

تتكون هذه الواجهة من ثلاثة أقسام رئيسية حيث يتم إدخال المتغيرات المتعلقة بتصميم المروحة المحورية. في القسم الأول، يتم إدخال كثافة المادة بالإضافة إلى اختيار نوع العجلة (Impeller type) واختيار الخوص (clearance tip). يتيح لنا الجزء الثاني إدخال كل من معامل العمل (work coefficient) ومعامل القطر مع الكفاءة (الايروديناميكية والحجمية). في الجزء الثالث، نقوم بتحديد قطر المحور والغطاء عند المدخل والمخرج. بالنسبة للمخرجات في الأقسام الثلاثة، تشمل المخرجات الأكثر أهمية مثلث السرعات وحساب المتغيرات عند المخرج.



الشكل 4.3 مدخلات التصميم

يوضح قسم المعاملات التجريبية (معامل التدفق ونسبة قطر المحور إلى الطرف) الناتجة من وظائف التقريب بالاعتماد على السرعة النوعية.



الشكل 5.3 أبعاد العجلة الدوارة (اليمين)، مثلث السرعات (اليسار)

مثلثات السرعة هي نتيجة حساب عند منتصف النطاق وتعتمد على نقطة التصميم والأبعاد الرئيسية. مثلثات السرعة عند المدخل والمخرج مُثلثة في الشكل.

2.3.2 تصميم المحيط الرأسي للجزء الدوار

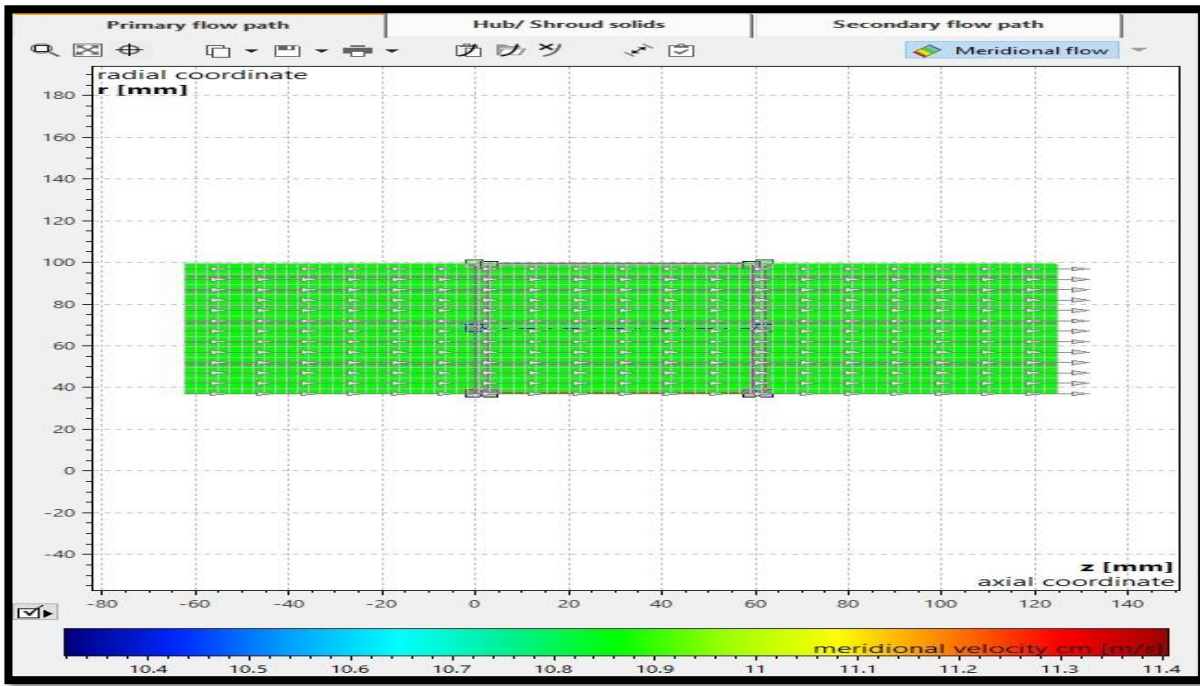
تصميم المحيط الرأسي هو المرحلة الثانية الحاسمة في عملية تصميم المكبس، وهي تنقسم إلى جزئين رئيسيين:

✓ مسار التدفق الأساسي

✓ جسم المحور/الغلاف

1.2.3.2 مسار التدفق الأساسي

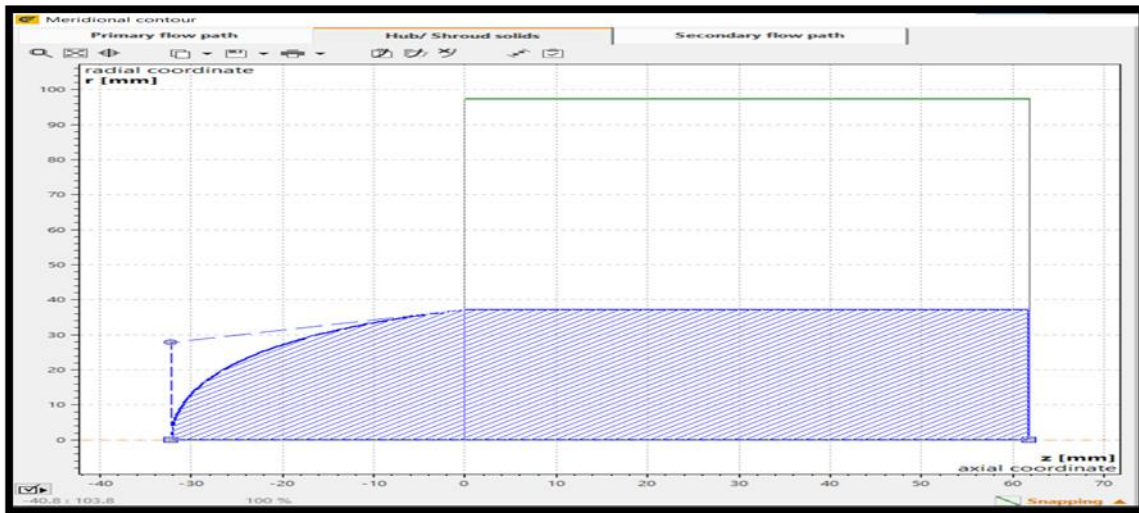
يحتوي هذا القسم على تصميم مسار التدفق الأساسي ويشمل تحديد محيط المحور والغلاف، بالإضافة إلى تحديد محيط حافة القيادة وحافة الذيل



الشكل 6.3 مسار التدفق

2.2.3.2 جسم المحور (الغلاف الصلب)

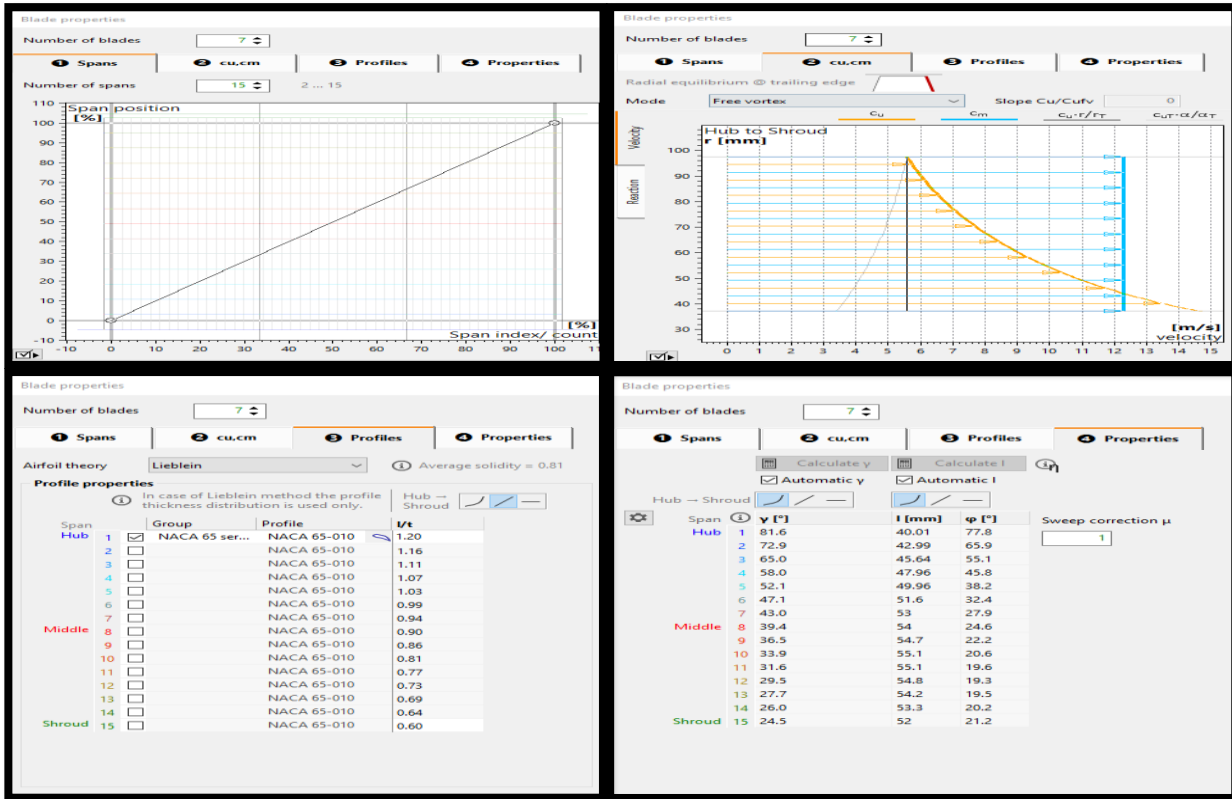
تحتوي هذه المرحلة على تصميم جسم المحور و/أو الغلاف الصلب، وهي جزء اختياري يتعلق بتحليل الإجهاد.



الشكل 7.3 تصميم أنف المروحة

3.3.2 خصائص الجناح

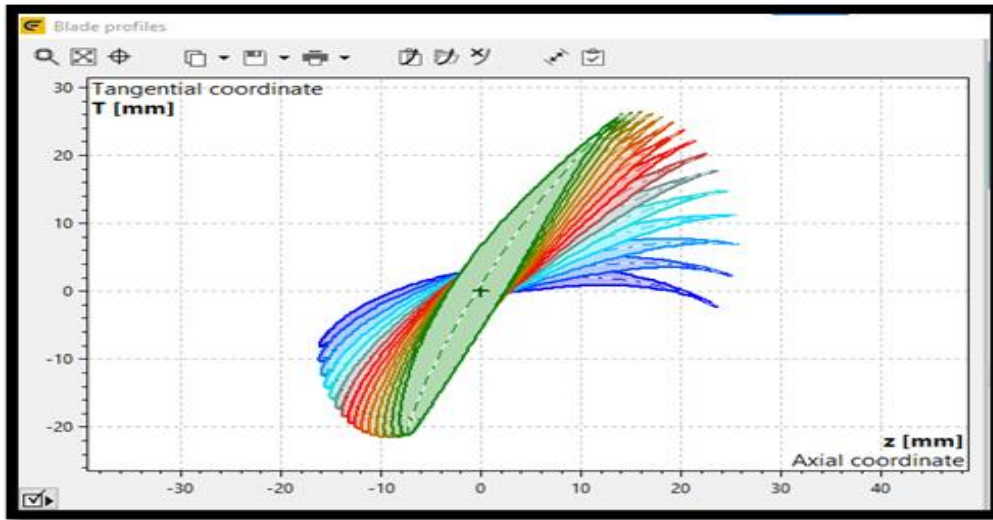
في هذه الواجهة، نجد عدد الجنيحات مع أربع مدخلات رئيسية. الأولى هي عدد التقسيمات في الجناح. الثانية تمثل سرعة المحور والغطاء. يتم استخدام الواجهة الثالثة لاختيار نوع الجناح NACA 65-010. وأخيراً، نجد خصائص الجناح، والتي تشمل طول الوتر وزاوية الانحناء وزاوية التثبيت، ويمكن اختيار تغييراتها لتكون كودرتيك، خطية، أو ثابتة.



الشكل 8.3 خصائص الجناح

4.3.2 مقطع الجناح

تستخدم هذه الواجهة للتحكم في مقطع الجناح لتحسين جريان الهواء حول المروحة. كما يمكن التحكم في الالتفاف وتقسيم الحافة لتعزيز تدفق الهواء بشكل أفضل. باختصار، تركز الواجهة على تحسين أداء المروحة من خلال تعزيز جريان الهواء وتقليل التلف والضجيج.

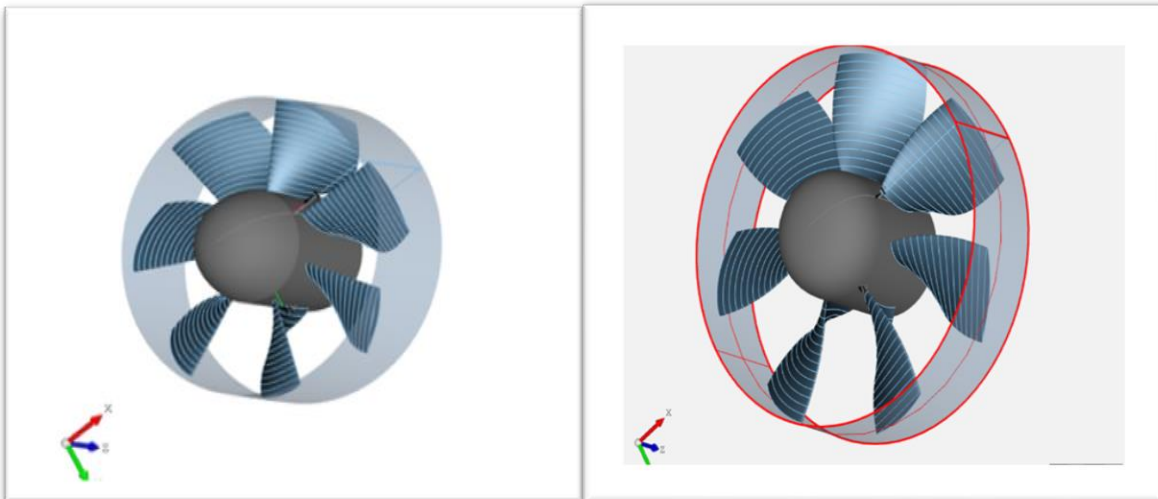


الشكل 9.3 مقطع الجناح

5.3.2 النموذج ثلاثي البعاد

النموذج ثلاثي الأبعاد الذي يتم إنتاجه بواسطة CFTurbo ، والذي يوفر لنا التفاصيل والخصائص النهائية للتصميم. يمكننا أيضًا التحكم فيما نرغب في عرضه أو إخفائه. أما بالنسبة للتصدير، فإن CFTurbo يسمح لنا بتصدير التصميم إلى عدة صيغ، بما في ذلك الصيغة التي نحتاجها وهي ANSYS Space

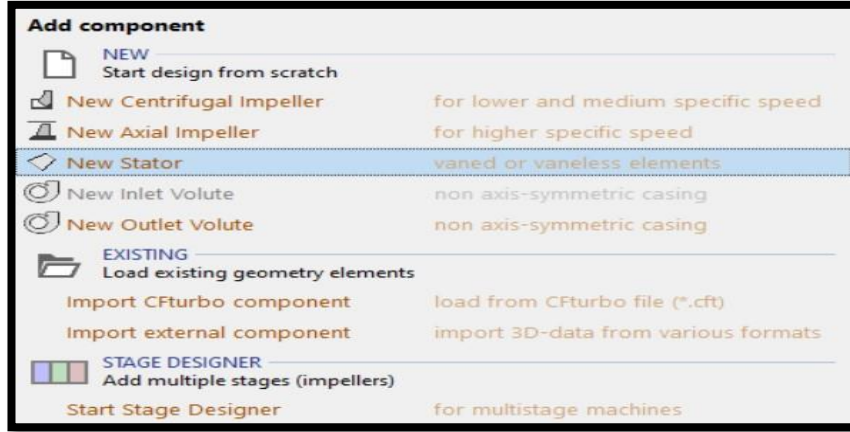
Claim.



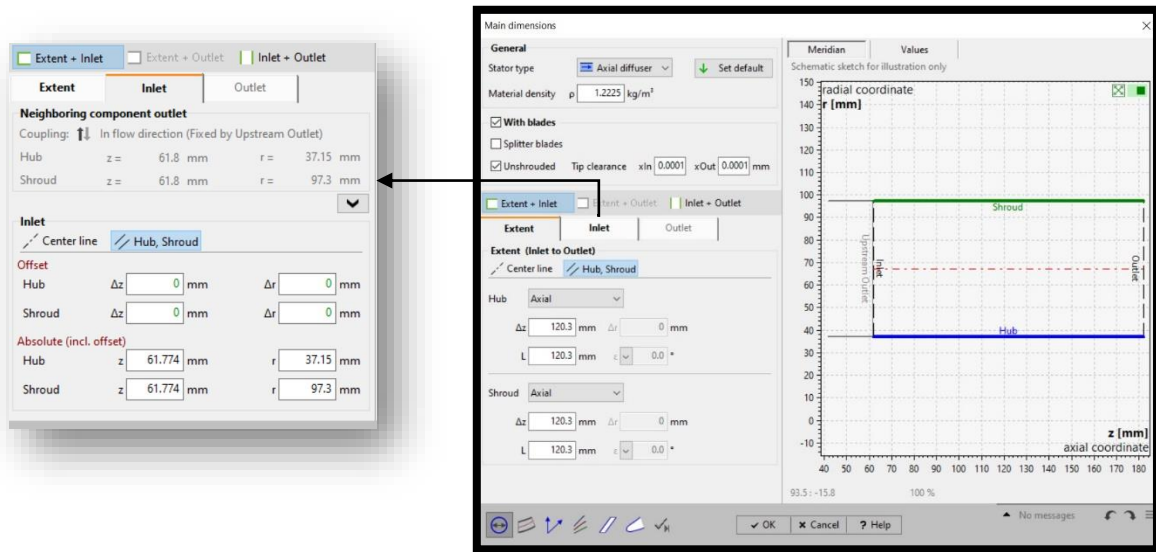
الشكل 10.3 الشكل 3D، الكبيرة (اليمنى)، الصغيرة (اليسرى)

4.2 تصميم الجزء الثابت

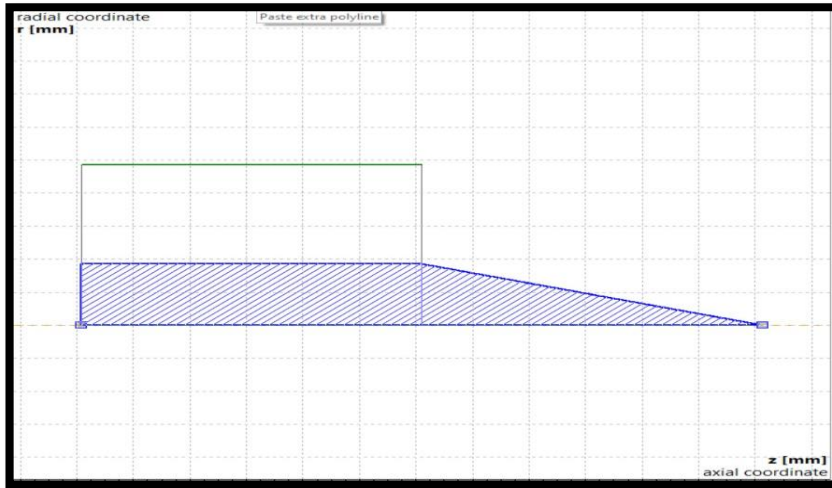
تم تتبع نفس الخطوات السابقة التي تم تشرحها في تصميم الجزء الدوار للمروحة من اجل تصميم الجزء الثابت بطول 120mm وبنفس قطر المروحة لكل من الغلاف والجذر.



الشكل 3. 11 اختيار تصميم الجزء الثابت



الشكل 12.3 أبعاد الجزء الثابت



الشكل 13.3 شكل نهاية الجزء الثابت

Number of blades: 5

1 Blade setup | 2 Spans | 3 Blade angles

Calculate α_{BLE} | Calculate α_{BTE}

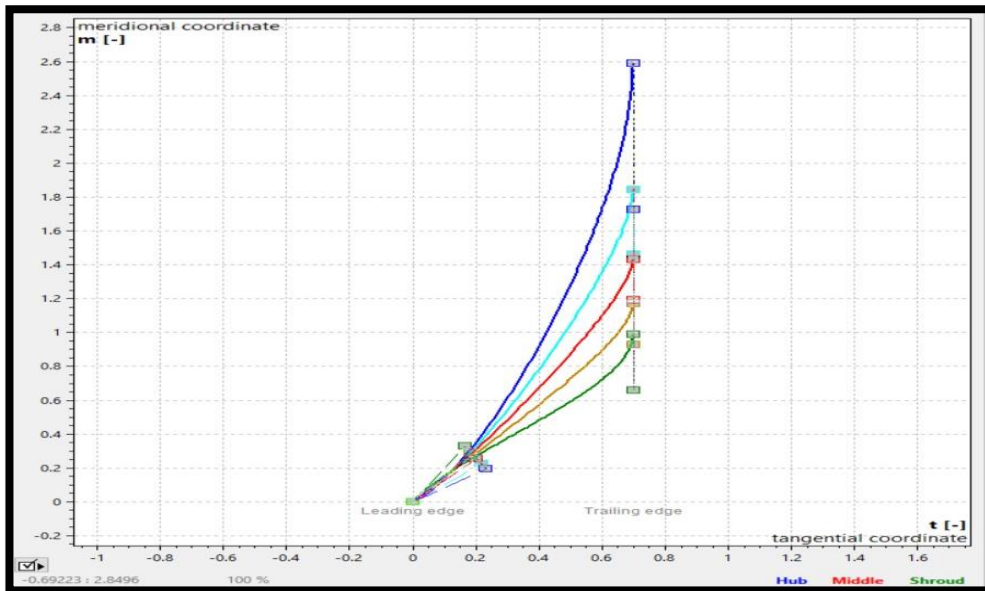
Automatic α_{BLE} | Automatic α_{BTE}

Hub → Shroud:

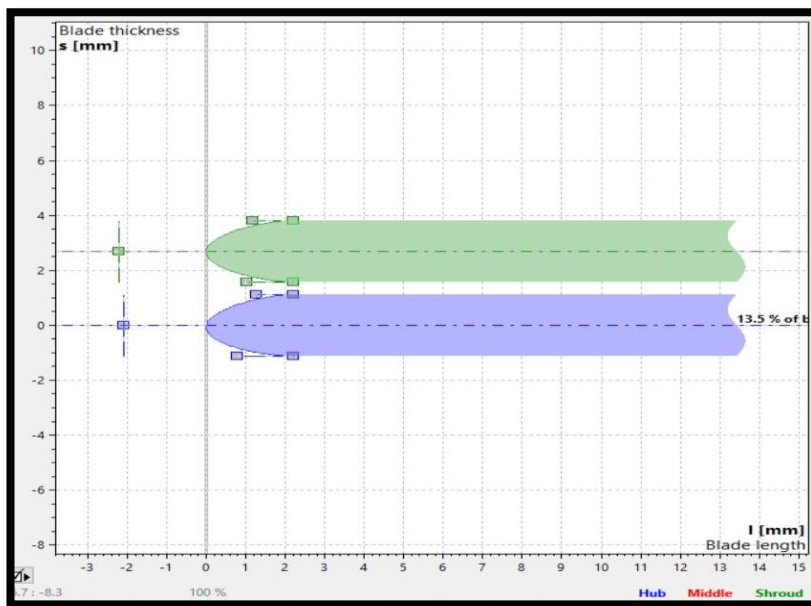
| Span | α_{BLE} [°] | α_{BTE} [°] |
|--------|--------------------|--------------------|
| Hub | 1 40.0 | 90.0 |
| | 2 45.8 | 90.0 |
| Middle | 3 51.5 | 90.0 |
| | 4 57.3 | 90.0 |
| Shroud | 5 63.1 | 90.0 |

α_{BTE} for stators is a variable input value. An optimized value cannot be calculated automatically.

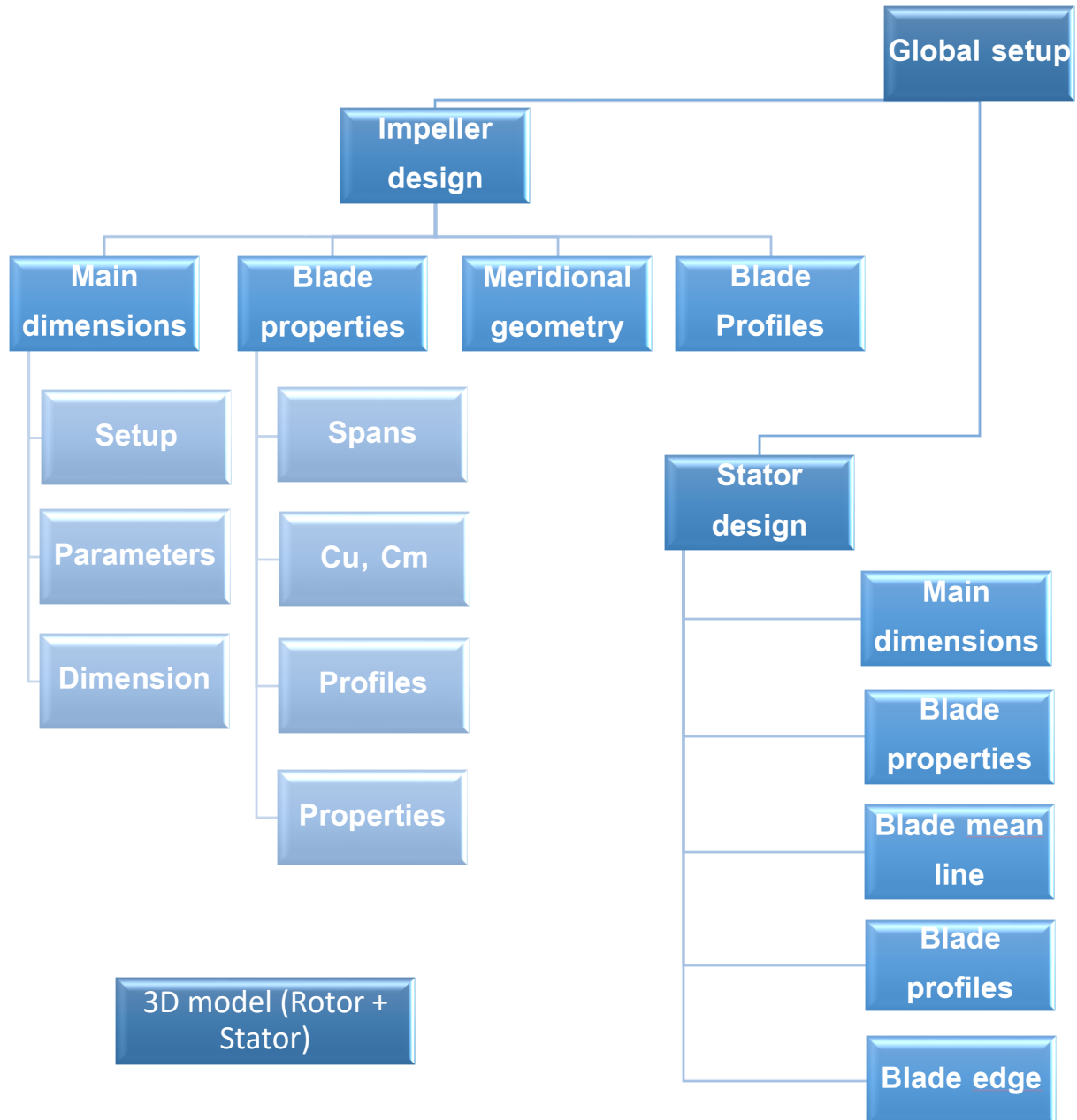
الشكل 14.3 خصائص جناح الثابت



الشكل 15.3 إحداثيات الجنيح في حافتي الهجوم والانفلات



الشكل 16.3 تعديل شكل حافة الهجوم



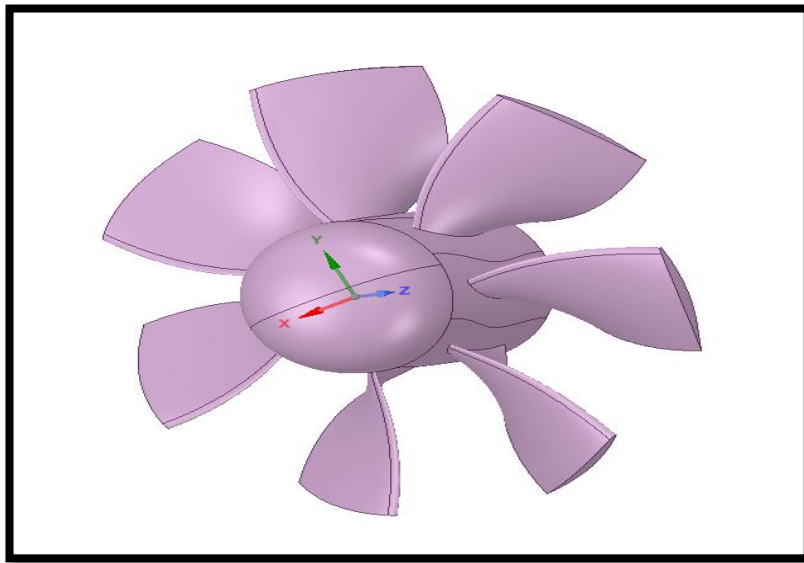
الشكل 17.3 مخطط عمل برنامج CFTurbo

الفصل الرابع

المحاكاة العددية

المقدمة

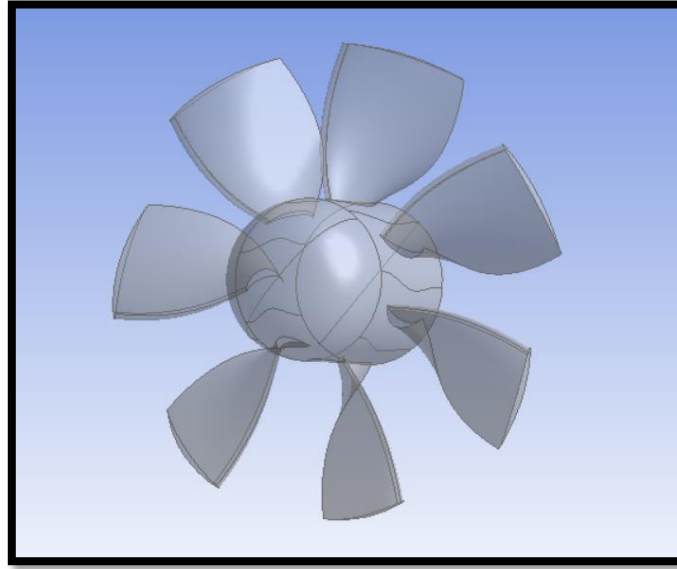
المروحة المحورية هي آلة توربينية تحوّل العمل المتوفر على العجلة الدوارة إلى طاقة حركية وطاقة ضغط عن طريق الأجنحة. تحويل هذه الطاقة يتم رصده باستخدام برنامج ميكانيك الموائع العددية (CFD) الذي يعتمد على النمذجة ثلاثية البعد لتحليل أداء المروحة وتوزيع الضغط والسرعة داخلها. يتم تقسيم المجال المراد دراسته إلى شبكة ثلاثية البعد مكونة من خلايا أو حجوم عنصرية. يمكن استخدام المعلومات الناتجة من البرنامج لتحليل أداء المروحة في ظروف مختلفة ترتبط بسرعة الدوران وقيمة التدفق. بواسطة هذا النموذج، يمكن فهم تفاعل المروحة مع المائع المار عبرها وتحليل تأثير متغيرات التصميم على أداء المروحة من حيث نسبة الانضغاط، الاستطاعة والمردودية، وذلك لتحديد النقطة الاسمية ومجال التشغيل لتحقيق أداء أمثل للمروحة في تطبيقاتها المختلفة. وتتم هذه العملية في الغالب بثلاث مراحل أساسية وهي تصميم الوسط الهندسي تليها مرحلة تشكيل الشبكة ثم مرحلة حل المعادلات المتحكممة في الظاهرة لنتحصل في الأخير على نتائج وبيانات يتم مشاهدتها وتحليلها حيث تتم هذه المراحل عن طريق مجموعة من البرامج يأتي ذكرها.



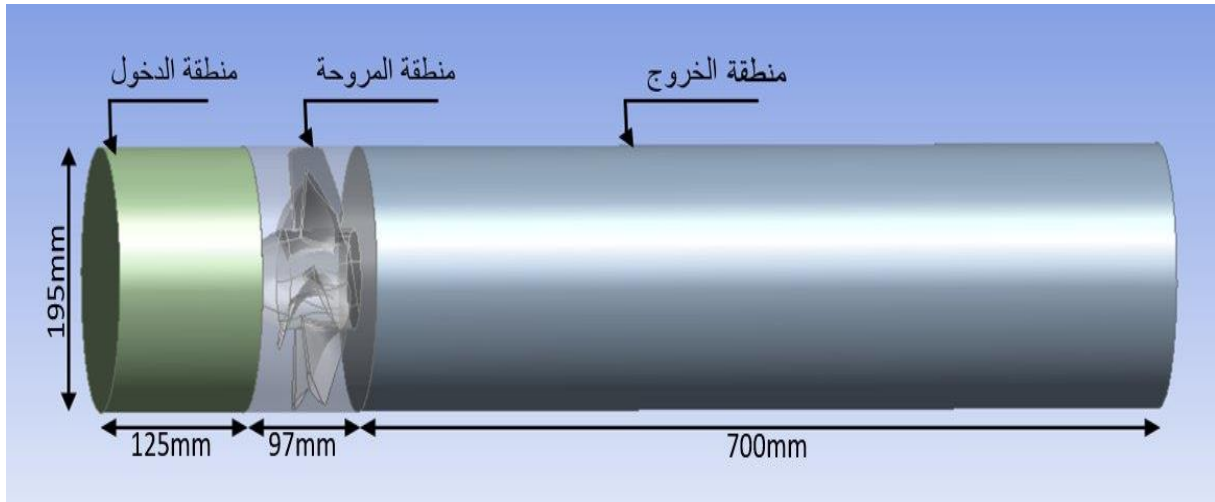
الشكل 1.4 المروحة في برنامج SPACE CLIME

1 مرحلة التصميم

تم تصدير الهندسة ثلاثية الأبعاد للمروحة المحورية من برنامج Cfturbo (الفصل الثالث) كما هو موضح في الشكل (1.4) وذلك بصيغة STEP أو IGES وهي الصيغ التي يستطيع قراءتها برنامج SPACE CLIME والذي هو عبارة عن برنامج تصميم مدمج داخل برنامج ANSYS .WORKBANCH



الشكل 2.4 | المروحة من برنامج DESIGN MODELER



الشكل 3.4 المروحة بعد وضعها داخل الجملة

بعد مرحلة الاستيراد نتوجه الى برنامج Ansys Design Modeler وذلك بغية انشاء النفق الهوائي

(DOMAINE) والذي يمكن توضيحه في الشكل (2.4)

2 مرحلة تشكيل الشبكة

تتمثل أهمية تكوين الشبكة، ثنائية الأبعاد أو ثلاثية الأبعاد، في مجال ديناميكا الموائع العددية في تأثيرها على الحل المحسوب. إن الحصول على شبكة ذات جودة عالية ضروري للحصول على نتيجة حسابية دقيقة. تؤثر جودة الشبكة بشكل كبير على التقارب ودقة الحل وخاصةً على وقت الحساب. يوجد ثلاث أنواع من الشبكات وهي شبكة مهيكلة أو غير مهيكلة، أو شبكة هجينة مشكلة من النوعين المذكورين

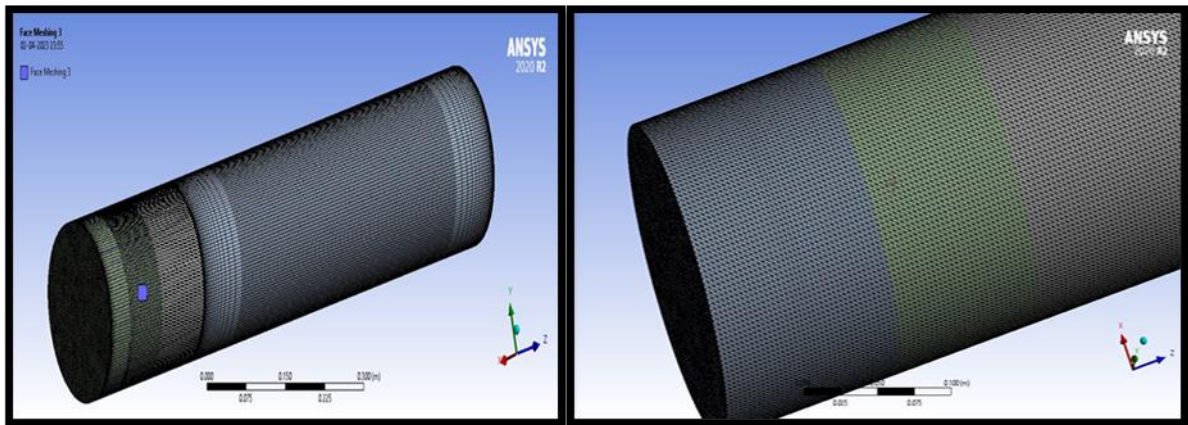
✓ شبكة منتظمة: في الشبكة المهيكلة، تنظم خلايا الشبكة بشكل له منحى مميز يتوافق مع الشكل العام لحدود المجال المدروس. على سبيل المثال، في الشبكة ثنائية الأبعاد المنتظمة، يمكن ترتيب الخلايا في شبكة مستطيلة بصفوف وأعمدة متباعدة بشكل. وبالمثل، في الشبكة ثلاثية الأبعاد، يمكن تنظيم الخلايا في شبكة مكعبية. وهذا يسهل حساب عمليات التفاضل العددي وغالبًا يوفر تقاربًا أسرع. ومع ذلك، يتم تحديد استخدامها عندما تصبح هندسة مجال الحساب معقدة أو يحتوي على أجسام منحنية، حيث يصعب الحفاظ على الشبكة المهيكلة في مثل هذه الحالات.

✓ شبكة غير مهيكلة: على عكس الشبكة المهيكلة، لا تتبع الشبكة منحى مميز يتوافق مع الشكل العام لحدود المجال المدروس. يمكن أن تكون الخلايا لديها أشكال مختلفة وموزعة بصورة عشوائية، تعتبر الشبكات غير المهيكلة مناسبة بشكل خاص لتمثيل الهندسات المعقدة مثل الأشكال الأجسام المنحنية.

تتمثل مزايا الشبكات غير المهيكلة في مرونتها في تمثيل الهندسات المعقدة وقدرتها على التكيف مع شروط الحدود المختلفة. ومع ذلك، قد يكون استخدام الشبكات غير المهيكلة أكثر تعقيدًا من حيث توصيلية الخلايا والحسابات العددية، والتي قد تؤدي في بعض الحالات إلى تقارب أبطأ.

✓ شبكة هجينة: في بعض الحالات، قد يكون من المفيد استخدام كل من الشبكات المهيكلة وغير المهيكلة في نفس المحاكاة. يتيح ذلك استغلال مزايا الشبكتين وتطبيقهما بشكل انتقائي في أجزاء

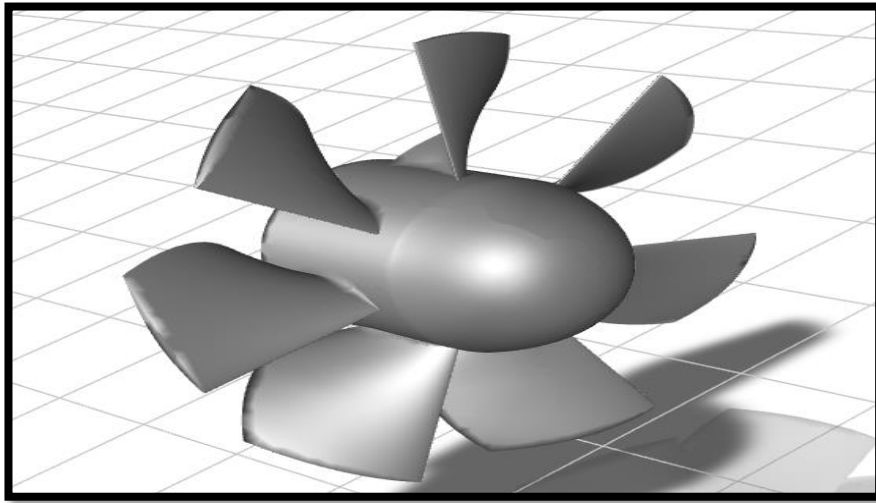
مختلفة من المجال. على سبيل المثال، يمكن استخدام شبكة مهيكلة في المناطق التي تكون هندستها نسبياً بسيطة، في حين يمكن استخدام شبكة غير المهيكلة في المناطق المعقدة. وفي الأخير، يعتمد اختيار الشبكة المهيكلة أو غير المهيكلة أو الشبكة الهجينة على هندسة المجال، تعقيد المشكلة، شروط الحدود ومتطلبات المحاكاة CFD. إن الحصول على شبكة ذات جودة عالية ضروري للحصول على نتائج دقيقة وموثوقة، وقد يستلزم ذلك وقتاً وجهداً إضافيين في عملية التشكيل والتحسين. تمت عملية تشكيل الشبكة في حالتنا عن طريق برنامج Meshing والذي يعد من أقوى البرامج في هذا المجال وذلك عن طريق تطبيق طريقة تشكيل الشبكة التلقائي حيث يقوم برنامج Ansys بتشكيل الشبكة بعد تنفيذ أحد الأوامر البرمجية. ومع ذلك فقد قمنا بعمل بعض التعديلات على التشبيك التلقائي وذلك بإعطائه حجم العنصر Element Size بقيمة تساوي 0,008 وذلك عن طريق إضافة واجهة Sizing من ثم تم التعديل على الطبقة الحدية من نافذة Inflation بقيمة 0,0005 لسك الطبقة الأولى First layer thickness وبعدد طبقات يقدر ب 20 طبقة. وبعد إنهاء هذه العمليات تتم تسمية أسطح المجال لتصديره الى برنامج الحساب وذلك بصيغة msh .



الشكل 4.4 الشبكة

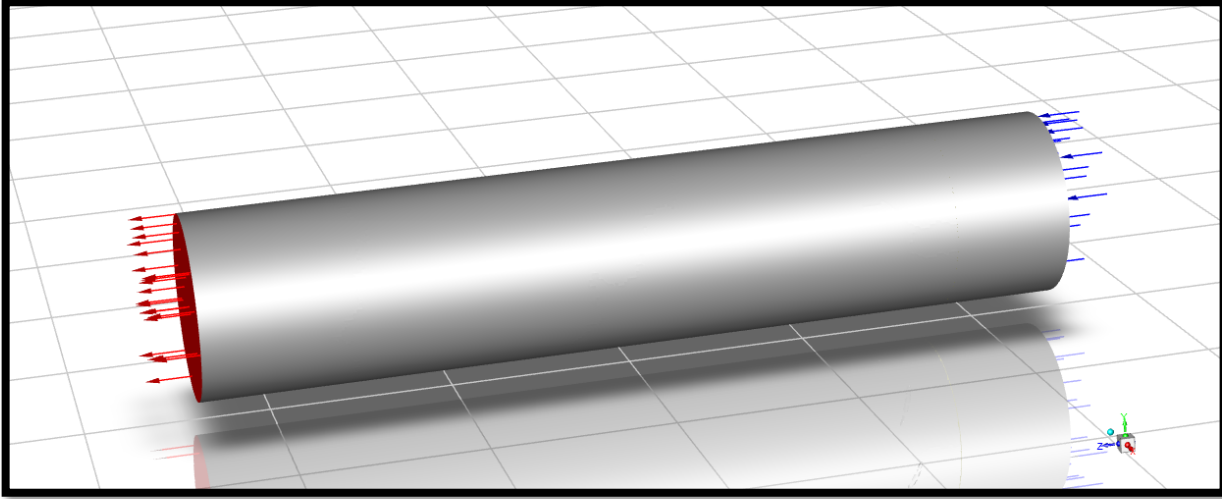
3 مرحلة الحل العددي للمعادلات

يمكننا برنامج ANSYS Fluent من دراسة خصائص جريان المائع مثل الضغط والسرعة ودرجة الحرارة، بالإضافة إلى الخصائص الديناميكية للهواء في النموذج المصمم باستخدام تقنيات المحاكاة العددية (CFD)، والتي تتطلب حل لمعادلات التحريك الأساسية للموائع، مثل معادلات انحفاظ الكتلة، كمية الحركة، العزم، ومعادلة الطاقة.



الشكل 5.4 المروحة من واجهة برنامج ANSYS FLUENT

تقنية المحاكاة العددية (CFD) هي تقنية حل عددي لمجموعة من المعادلات التفاضلية الجزئية التي تصف جريانات الموائع والظواهر المرتبطة بها للحصول على معلومات محددة حول حقل الجريان. ومن المعلوم أنه عندما لا يكون الاختبار التجريبي عملياً، يتم استخدام تقنية الديناميكا العددية + للموائع (CFD) في كثير من الأحيان. علاوة على ذلك، يُعتبر أداة تحسين للنموذج المقترح، مما يسمح بتصحيح أخطاء التصميم أو تقليلها قبل الانتقال إلى عملية التصنيع. [7] وتتم هذه المرحلة على عدة مراحل.



الشكل 6.4 الجملة من واجهة برنامج ANSYS FLUENT

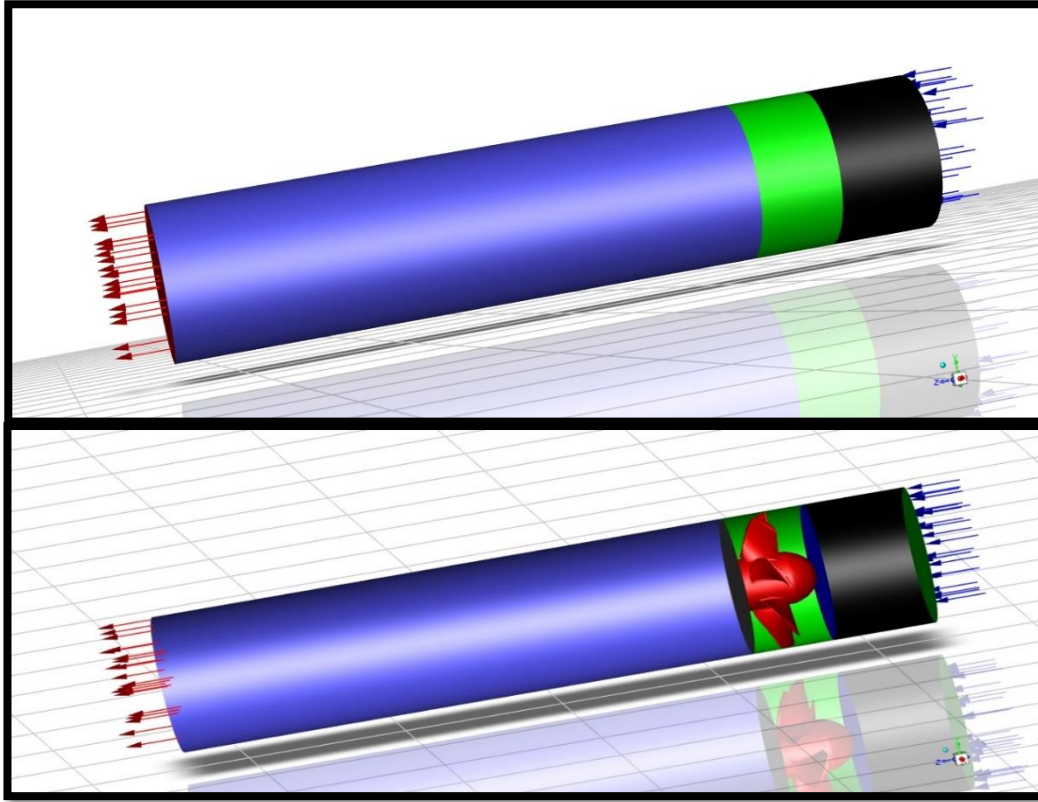
تتضمن هذه الخطوة من المحاكاة اختيار نموذج العصف Kε RNG لحل وتحليل هذه المشكلة والذي تم الاعتماد عليه بعد أن تم تجريب نموذج Kw SST ولم يعط نتيجة قريبة من الواقع.

1.3 الشروط الحدية

تم في هاته المسألة اختيار شروط حدية تتماشى مع طبيعة المسألة ويتم توضيحها في الجدول المبين أسفله.

جدول 1.3 المدخلات والشروط الحدية

| نوع الشرط | القيمة | المنطقة |
|-----------------|-------------|---------------|
| Mass flow inlet | 0.36 [Kg/s] | المدخل |
| Rotational wall | 3000 [rpm] | منطقة المروحة |
| Stationery wall | / | باقي المناطق |
| Pressure outlet | 101325 [Pa] | المخرج |



الشكل 7.4 يمثل مختلف الشروط الحدية

2.3 مؤشرات التقارب

تم اختيار ثلاث مقادير لمعرفة تقارب الحل من عدمه وهي الضغط الساكن عند المخرج والتدفق عند المدخل والعزم في المروحة.

4 النتائج

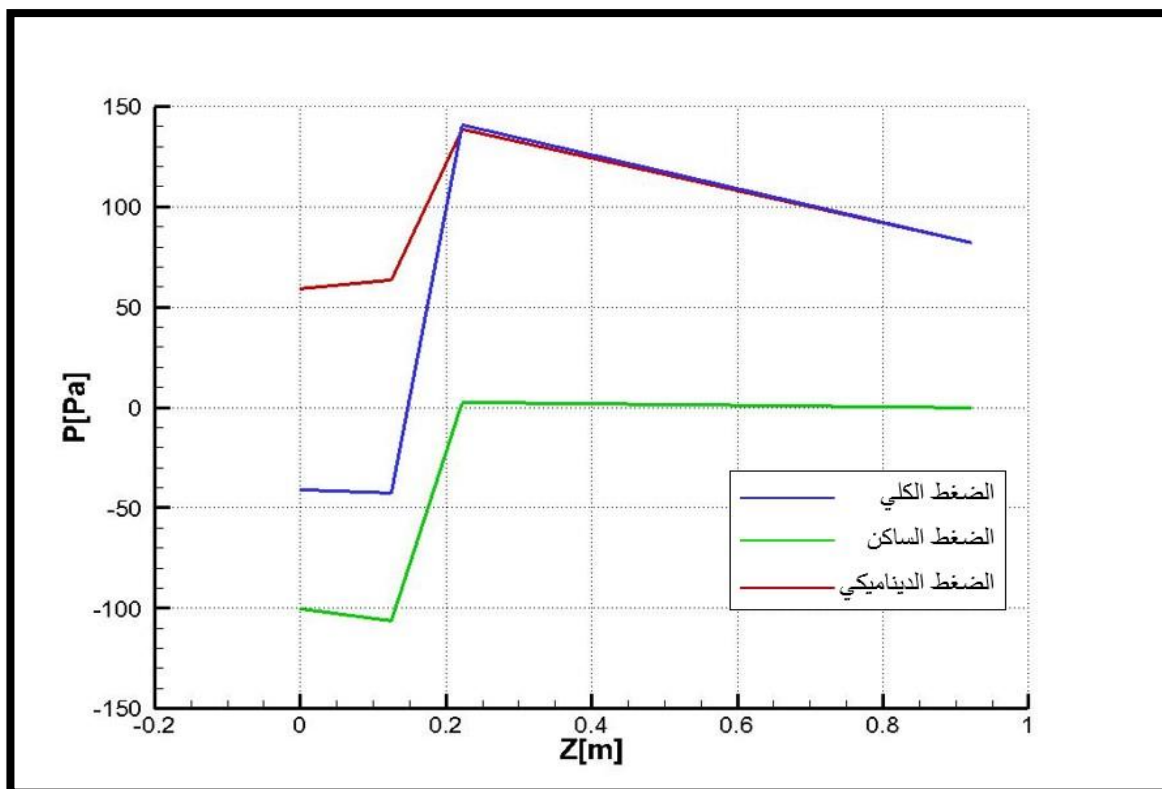
1.4 الحالة الأولى (مروحة)

1.1.4 المروحة الصغيرة

بعد القيام بعدة تجارب عددية خاصة بالمروحة الصغيرة تم التحصل على النتائج التالية:

جدول 2.4 قيم الضغوط الناتجة عن محاكاة التدفق الكتلبي 0.36

| المحطات | الضغط الكلي | الضغط الساكن | الضغط الديناميكي |
|---------|-------------|--------------|------------------|
| 0 | -41.232397 | -100.5656 | 59.333203 |
| 0.125 | -42.717454 | -106.13256 | 63.415106 |
| 0.222 | 140.79704 | 2.2629656 | 138.534074 |
| 0.922 | 81.955636 | 0 | 81.955636 |



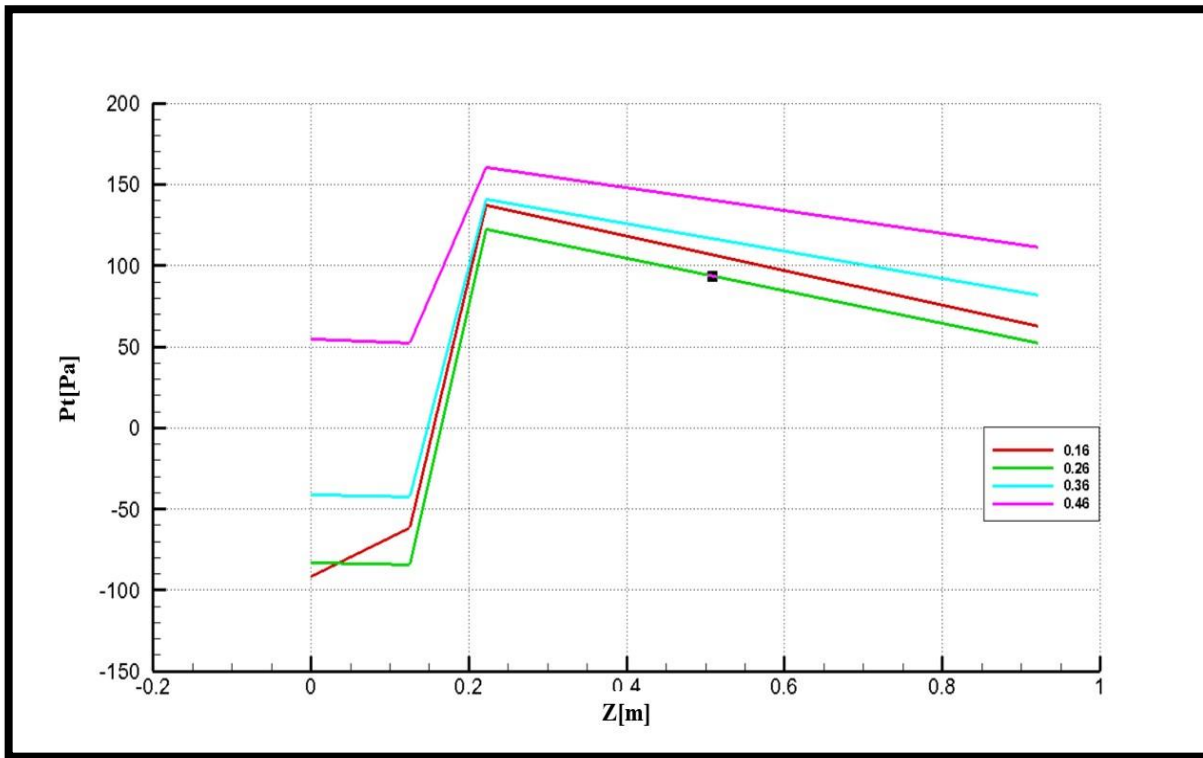
الشكل 8.4 تغيرات الضغوط على طول الأنبوب

جدول 3.4 تغيرات الضغط الكلي على طول الأنبوب بدلالة التدفق

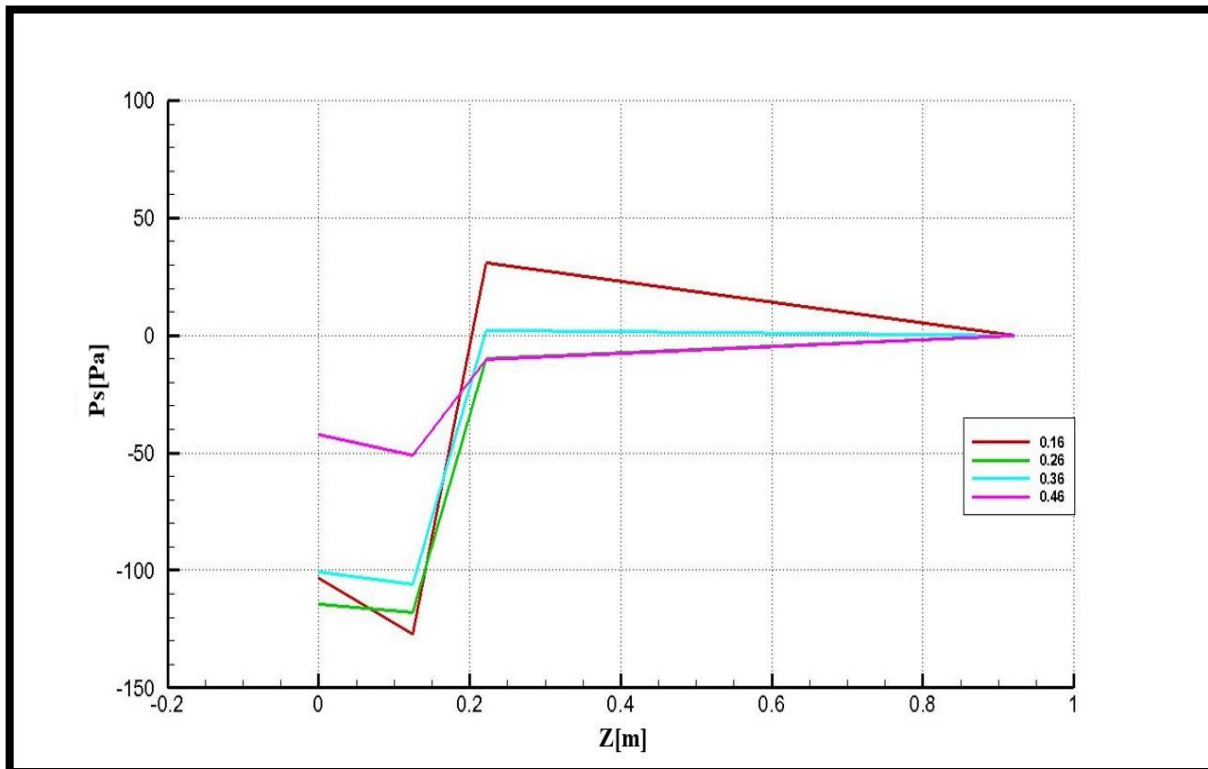
| الضغط الكلي | | | | |
|--------------|------------|--------------|--------------|----------|
| التدفق الكلي | المدخل | مدخل المروحة | مخرج المروحة | المخرج |
| 0.16 | -91.587188 | -61.7095 | 136.0825 | 62.52679 |
| 0.2 | -76.136673 | -53.5127 | 134.5135 | 66.76296 |
| 0.26 | -83.371924 | -84.322 | 122.415 | 52.13165 |
| 0.3 | -48.744362 | -49.8672 | 175.972 | 105.4895 |
| 0.36 | -41.232397 | -42.7175 | 140.797 | 81.95564 |
| 0.4 | 22.044593 | 20.40583 | 175.289 | 123.2242 |
| 0.46 | 54.477265 | 52.40331 | 160.3395 | 111.0405 |
| 0.5 | 106.330159 | 103.8494 | 181.2208 | 132.8519 |

جدول 4.4 تغيرات الضغط الساكن على طول الأنبوب بدلالة التدفق

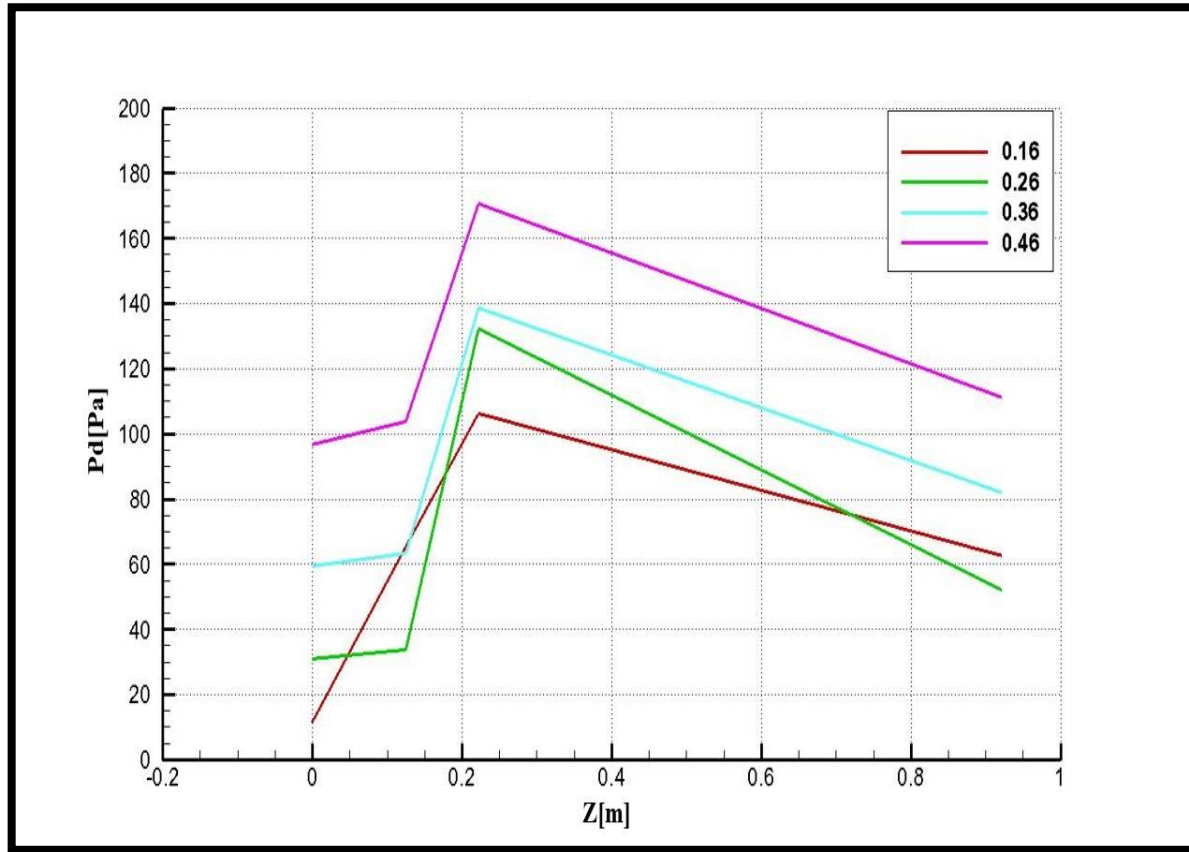
| الضغط الساكن | | | | |
|--------------|---------|--------------|--------------|--------|
| التدفق الكلي | المدخل | مدخل المروحة | مخرج المروحة | المخرج |
| 0.16 | -103.31 | -127.16 | 30.7906 | 0 |
| 0.2 | -94.45 | -117.44 | 26.171 | 0 |
| 0.26 | -114.32 | -118.04 | -9.975 | 0 |
| 0.3 | -89.048 | -93.899 | 44.8513 | 0 |
| 0.36 | -100.57 | -106.13 | 2.26296 | 0 |
| 0.4 | -51.206 | -57.984 | 27.6131 | 0 |
| 0.46 | -42.397 | -51.222 | -10.34 | 0 |
| 0.5 | -8.124 | -18.45 | -8.3692 | 0 |



الشكل 9.4 تغيرات الضغط الكلي على طول الأنبوب بدلالة التدفق



الشكل 10.4 تغيرات الضغط الساكن على طول الأنبوب بدلالة التدفق



الشكل 11.4 تغيرات الضغط الديناميكي على طول الأنبوب بدلالة التدفق

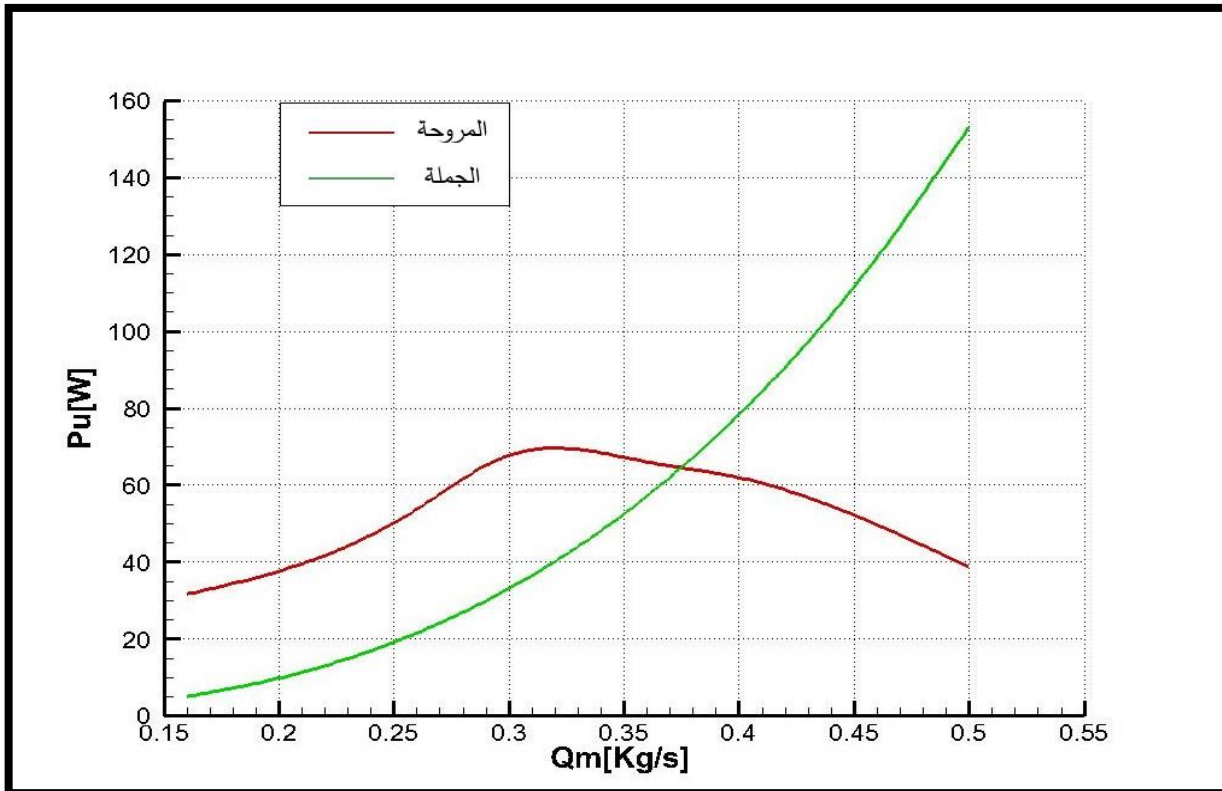
جدول 5.4 نتائج الفرق في ضغط المروحة والعزم بدلالة تغير التدفق

| ω [Rad/s] | T [N.m] | ΔP [Pa] | Q_m [Kg/s] |
|------------------|------------|-----------------|--------------|
| 314.159265 | 0.1578274 | 197.791926 | 0.16 |
| | 0.16123612 | 188.026188 | 0.2 |
| | 0.1804769 | 206.737022 | 0.26 |
| | 0.20246337 | 225.839271 | 0.3 |
| | 0.20141905 | 183.514494 | 0.36 |
| | 0.19267756 | 154.883118 | 0.4 |
| | 0.17259613 | 107.936172 | 0.46 |
| | 0.15158506 | 77.37141 | 0.5 |

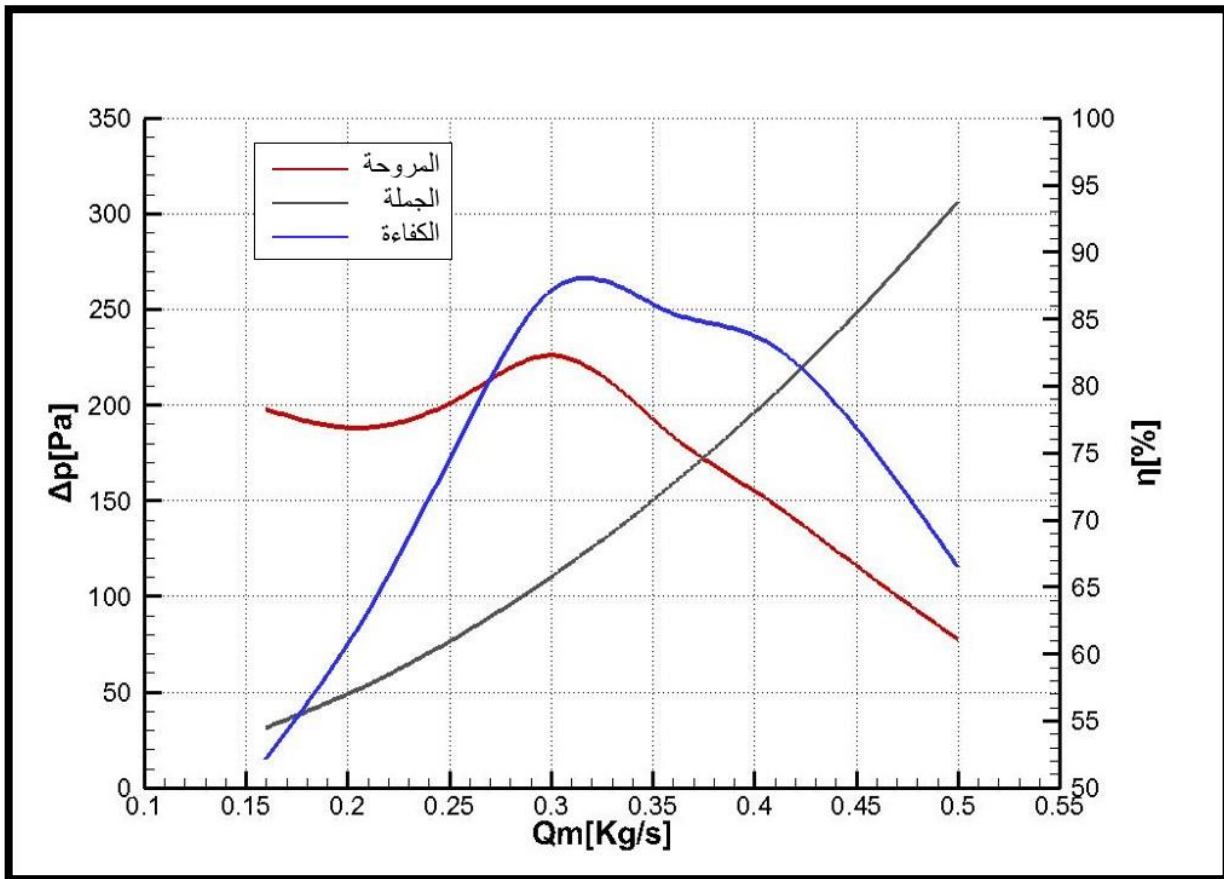
✓ تم حساب كل من كفاءة المروحة واستطاعتها انطلاقاً من فرق الضغط الذي تنتجه:

جدول 6.4 استطاعة وكفاءة المروحة بدلالة التدفق

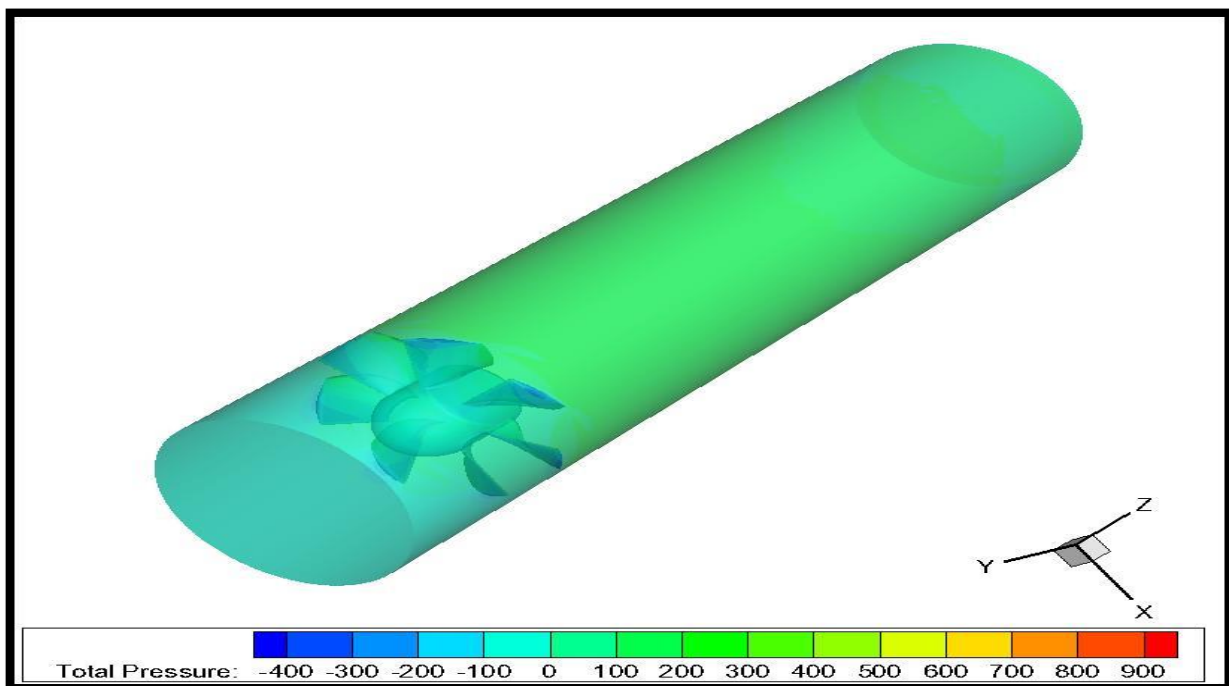
| η [%] | P_{U_f} [W] | Q_m [Kg/s] |
|------------|---------------|--------------|
| 52.2092434 | 31.6467082 | 0.16 |
| 60.7277595 | 37.6052376 | 0.2 |
| 77.5481142 | 53.7516257 | 0.26 |
| 87.1315654 | 67.7517813 | 0.3 |
| 85.4030907 | 66.0652178 | 0.36 |
| 83.7209594 | 61.9532472 | 0.4 |
| 74.9022821 | 49.6506391 | 0.46 |
| 66.4500597 | 38.685705 | 0.5 |



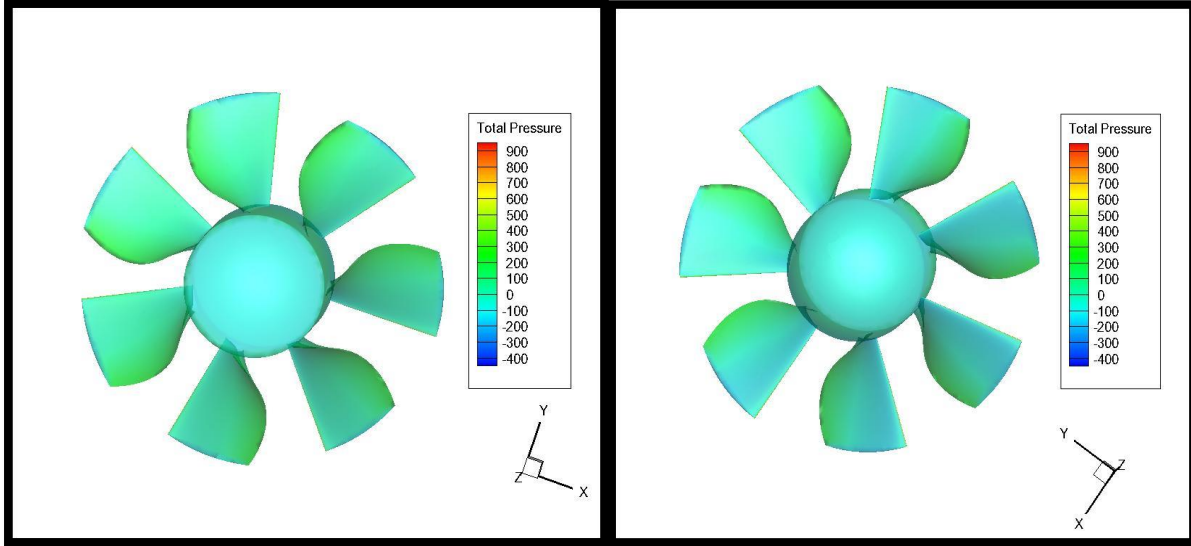
الشكل 12.4 استطاعة كل من المروحة والجملة



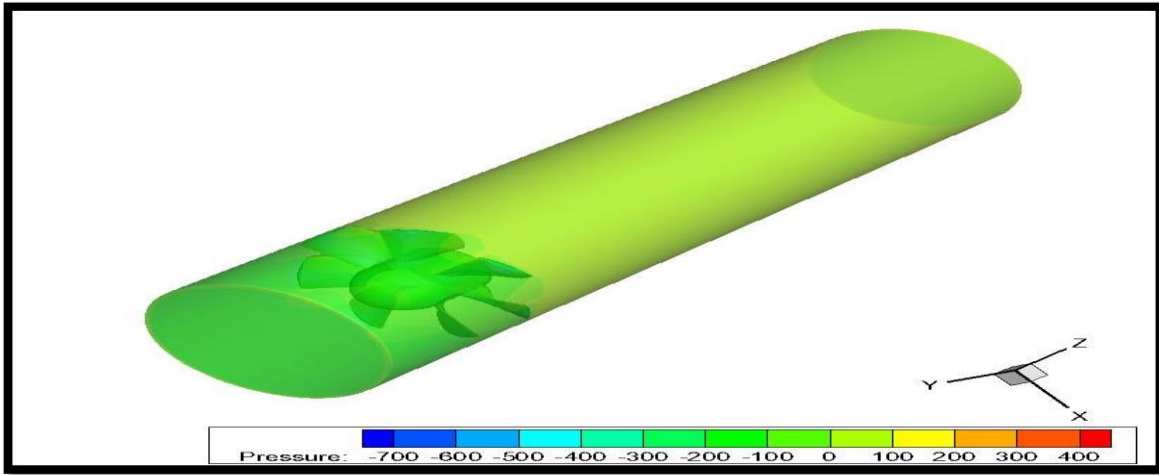
الشكل 13.4 منحنيات الفرق في ضغط المروحة والجملة وكفاءة المروحة



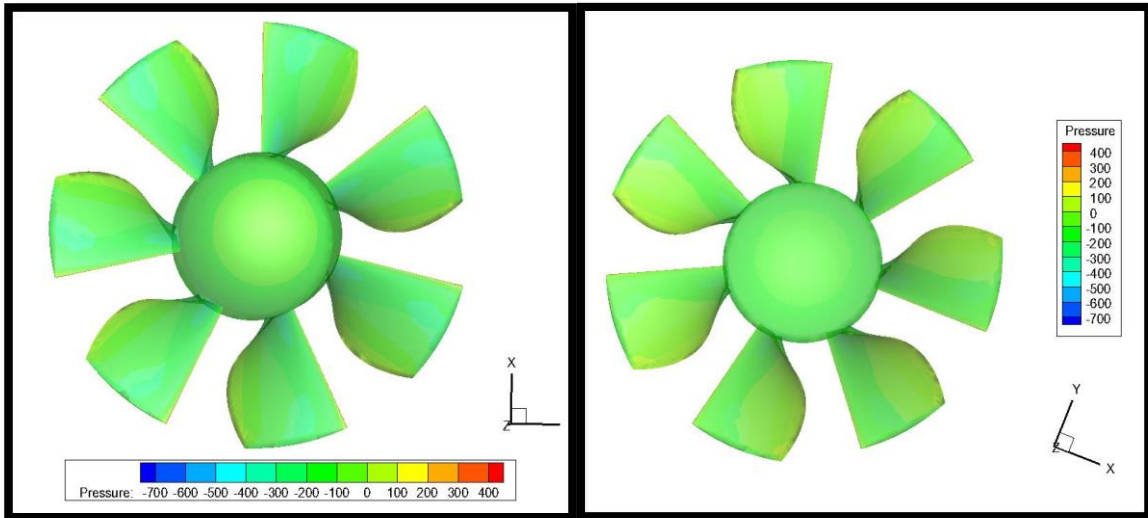
الشكل 14.4 الضغط الكلي للمروحة داخل الجملة



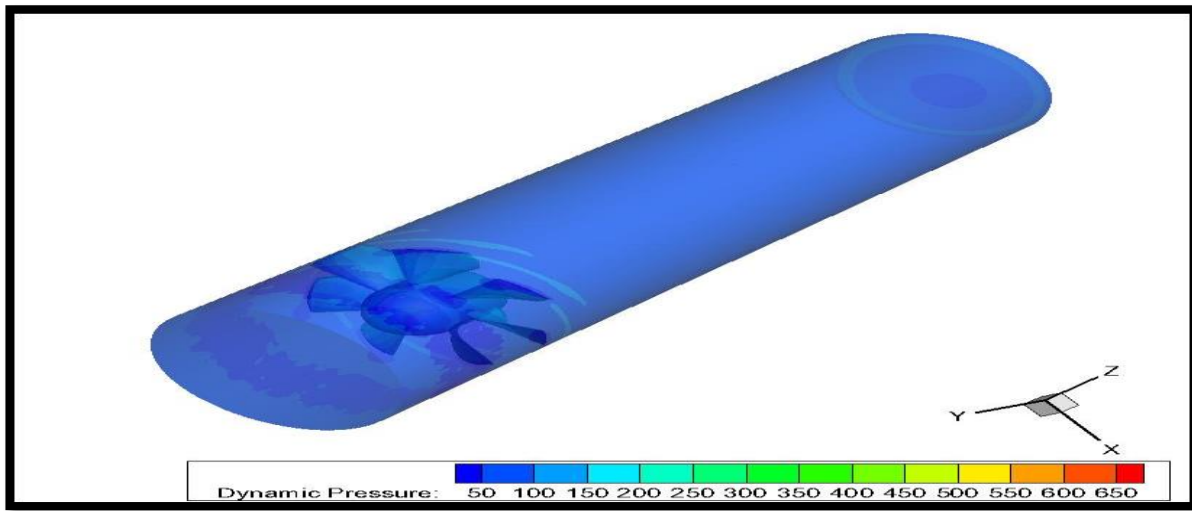
الشكل 15.4 الضغط الكلي للمروحة، البطن (اليمين)، الظهر (اليسار)



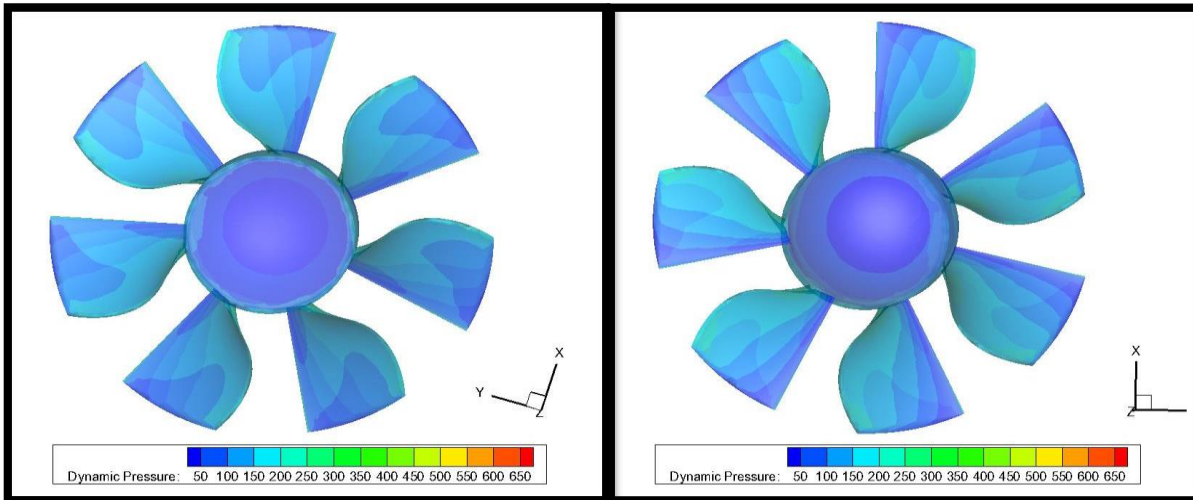
الشكل 16.4 الضغط الساكن للمروحة داخل الجملة



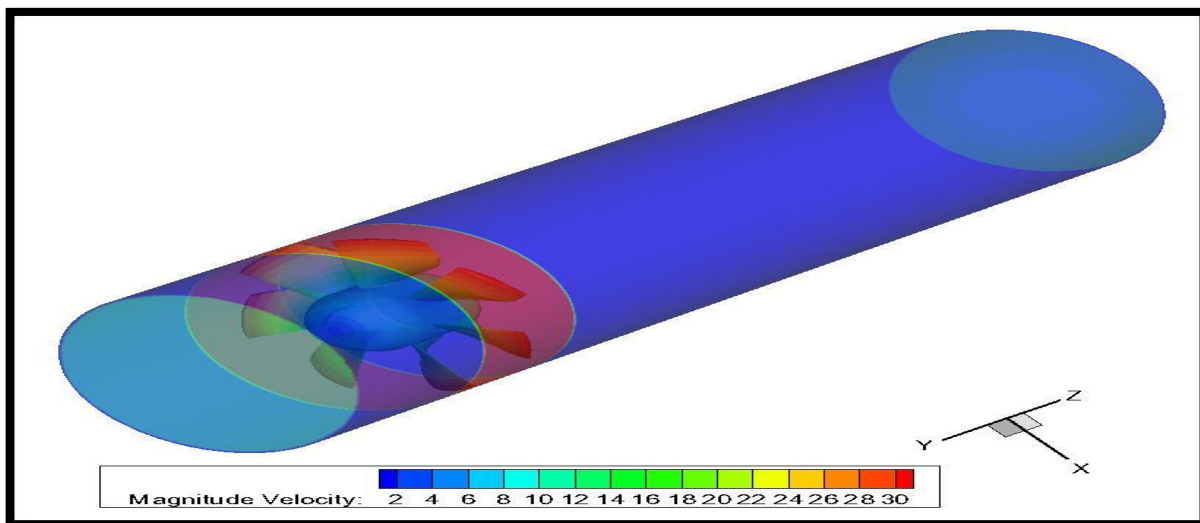
الشكل 17.4 الضغط الساكن للمروحة، الظهر (اليمين)، البطن (اليسار)



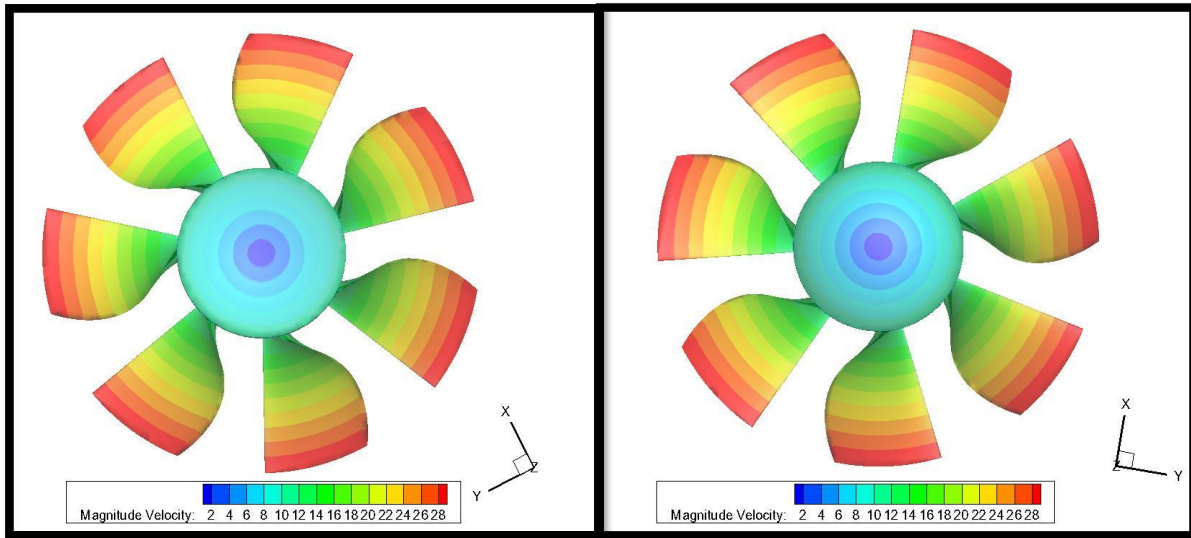
الشكل 18.4 الضغط الديناميكي للمروحة داخل الجملة



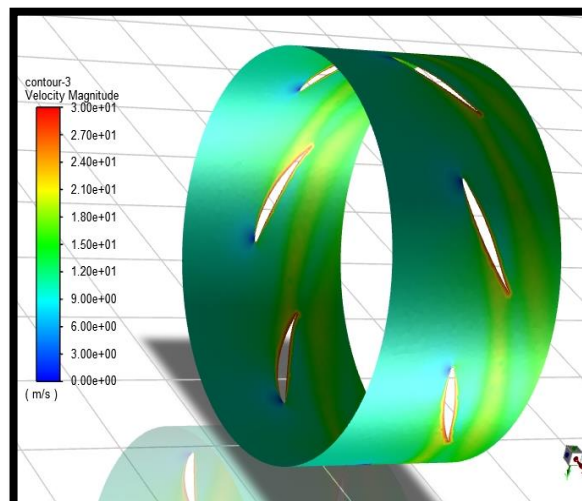
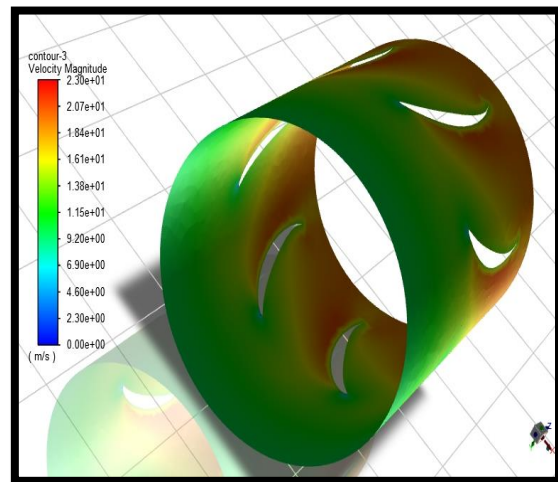
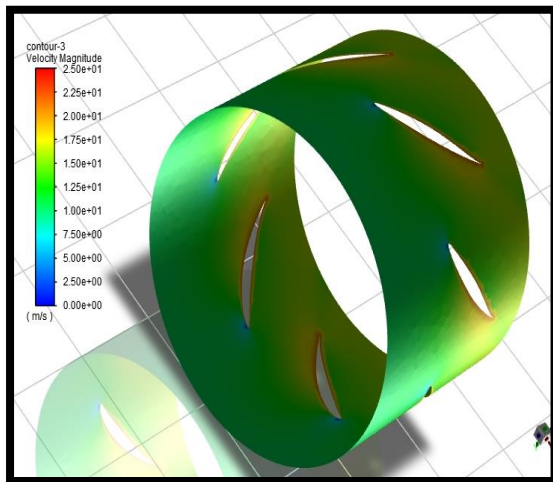
الشكل 19.4 الضغط الديناميكي للمروحة، البطن (اليمين)، الظهر (اليسار)



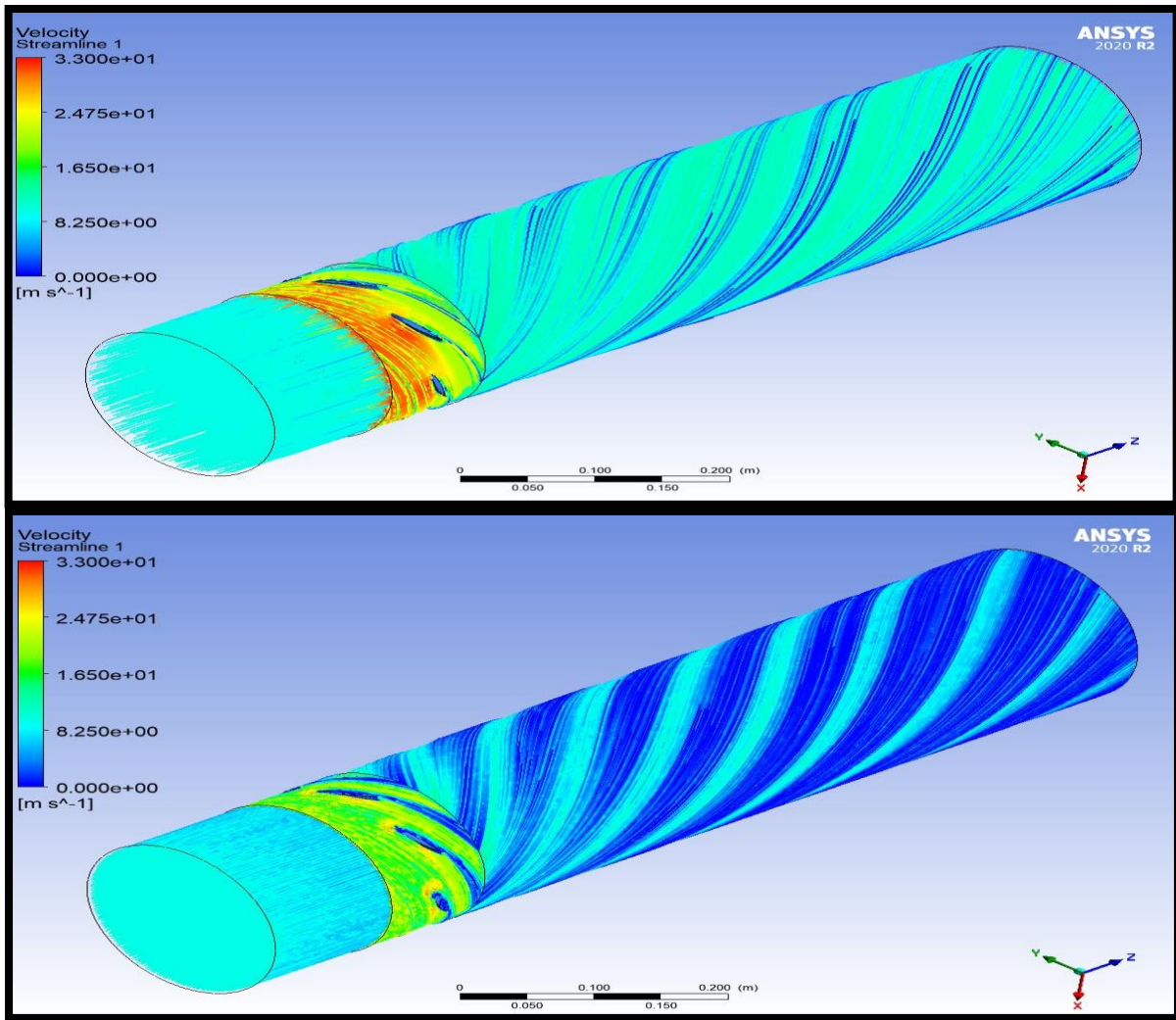
الشكل 20.4 محصلة السرعة للمروحة داخل الجملة



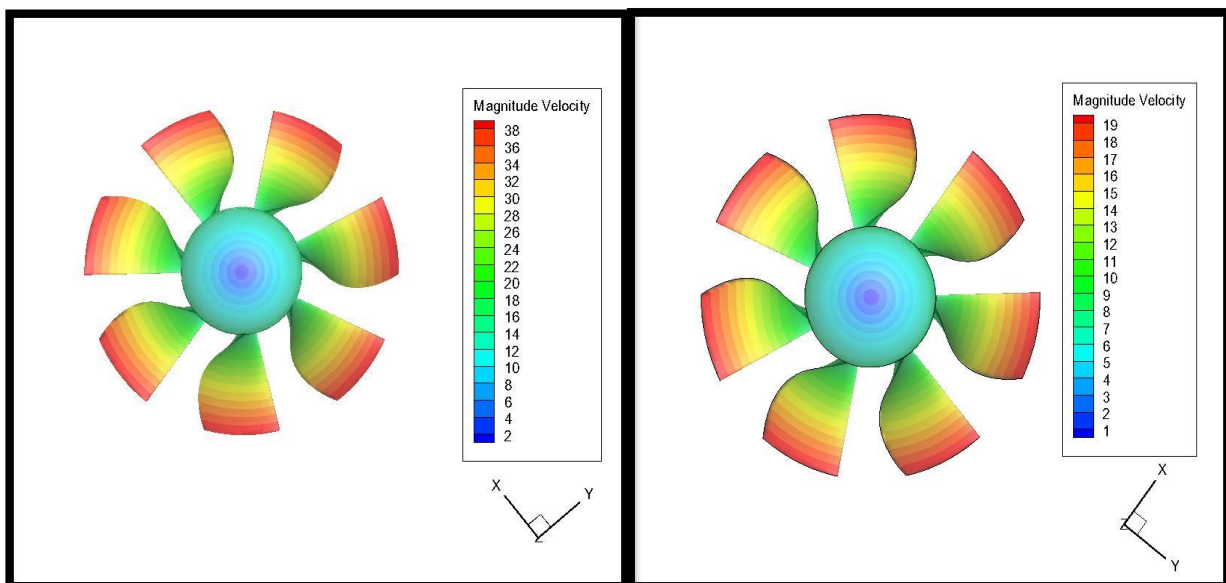
الشكل 21.4 محصلة السرعة للمروحة، البطن (اليمين)، الظهر (اليسار)



الشكل 22.4 محصلة السرعة للمروحة، في المقاطع 0.1 و 0.5 و 0.9 من الجناح على التوالي



الشكل 23.4 خطوط التيار



الشكل 24.4 محصلة سرعة المروحة, 2000 Rpm (اليمين), 4000 Rpm (اليسار)

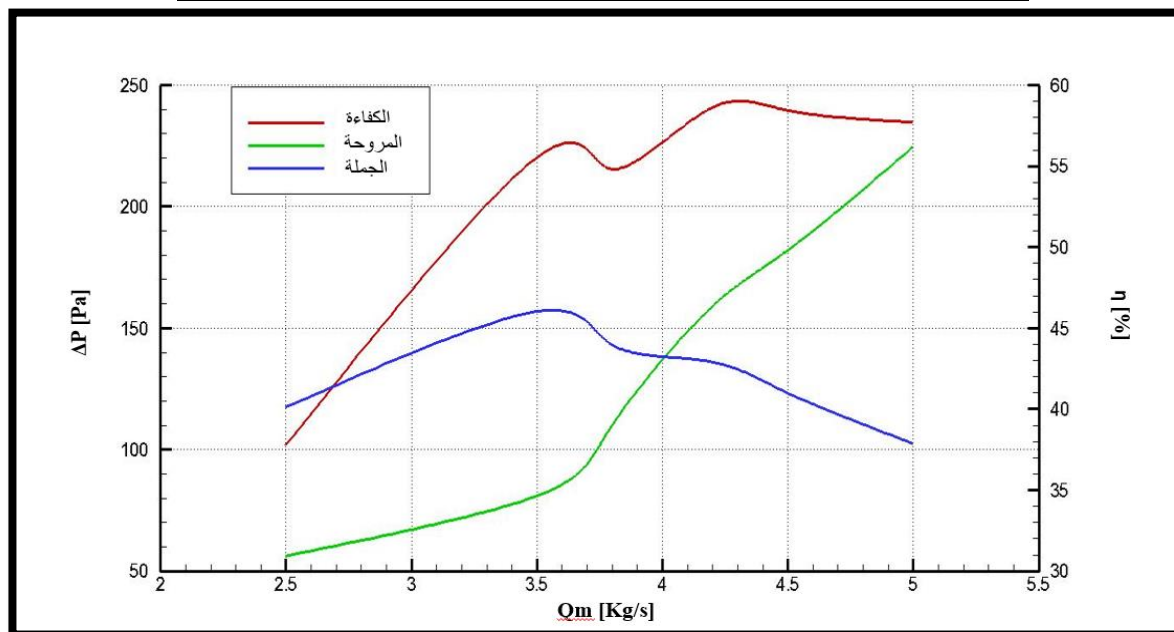
2.1.4 المروحة الكبيرة

جدول 7.4 استطاعة وكفاءة المروحة بدلالة التدفق

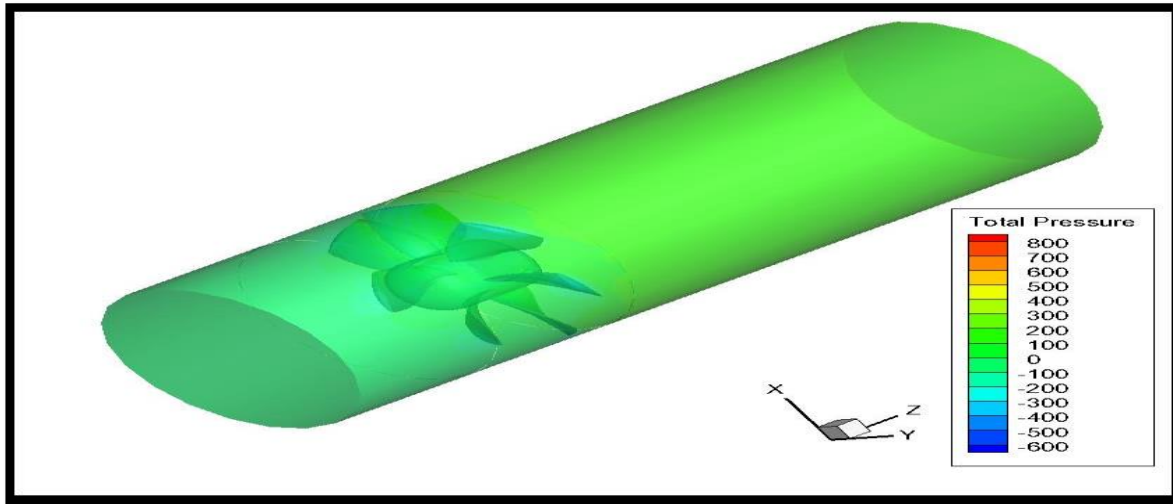
| η [%] | P_{U_f} [W] | Q_m [Kg/s] |
|-------------|---------------|--------------|
| 37.81054372 | 635.1986179 | 2.5 |
| 55.53068833 | 808.248013 | 3.5 |
| 54.806484 | 811.0335585 | 3.8 |
| 58.45801411 | 797.8912293 | 4.18 |
| 58.43469348 | 775.9733846 | 4.5 |
| 57.70775434 | 725.7497901 | 5 |

جدول 8.4 نتائج الفرق في ضغط المروحة والعزم بدلالة تغير التدفق

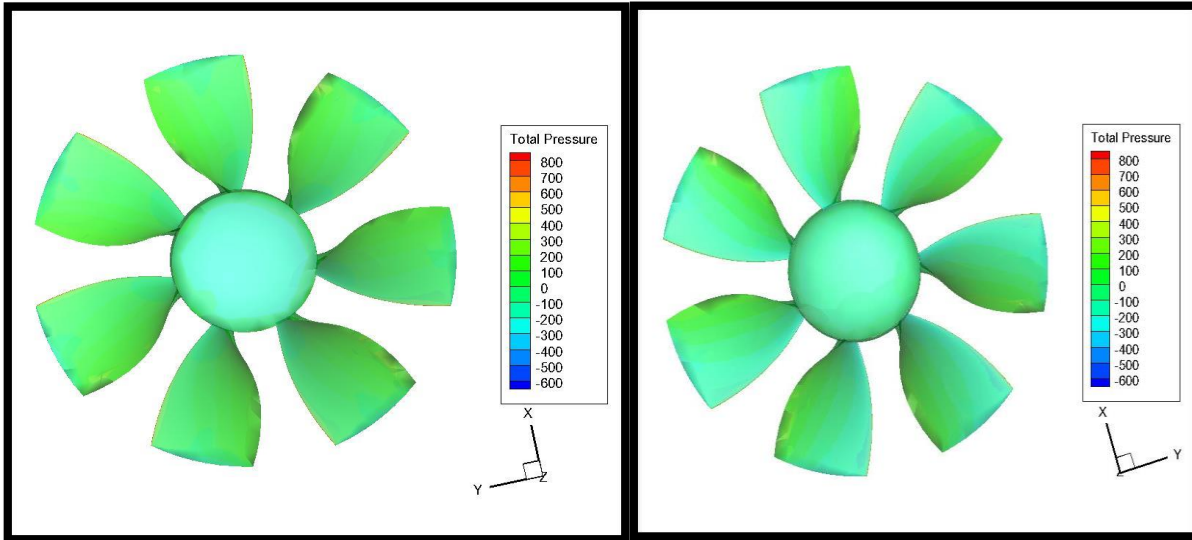
| ω [Rad/s] | T [N.m] | ΔP [Pa] | Q_m [Kg/s] |
|------------------|---------|-----------------|--------------|
| | 6.0657 | 117.444133 | 2.5 |
| | 7.7182 | 156.7684 | 3.5 |
| 104.719755 | 7.7448 | 143 | 3.8 |
| | 7.6193 | 136.414437 | 4.18 |
| | 7.41 | 123.1839 | 4.5 |
| | 6.9304 | 102.4 | 5 |



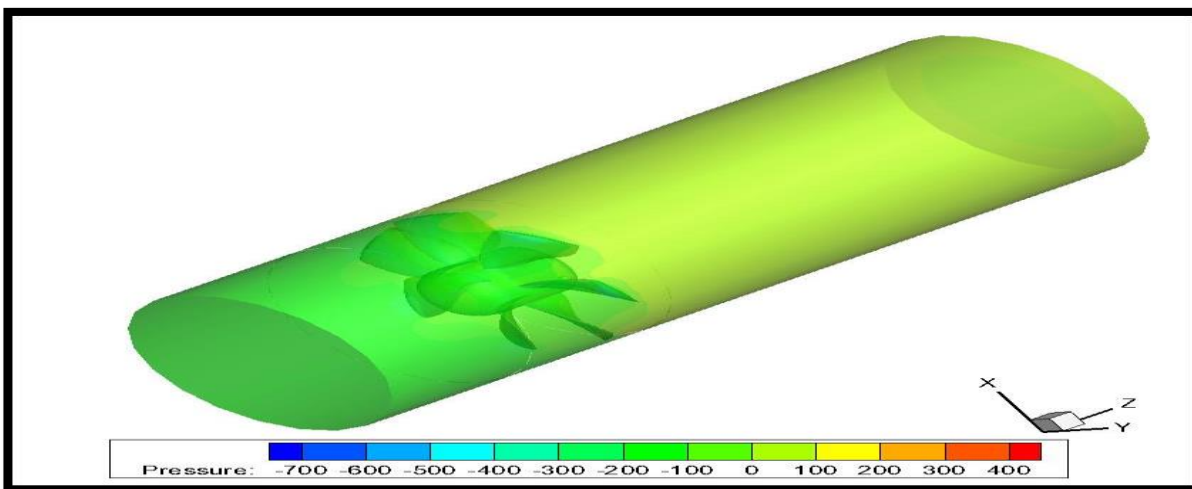
الشكل 25.4 منحنيات الفرق في ضغط المروحة والجملة وكفاءة المروحة



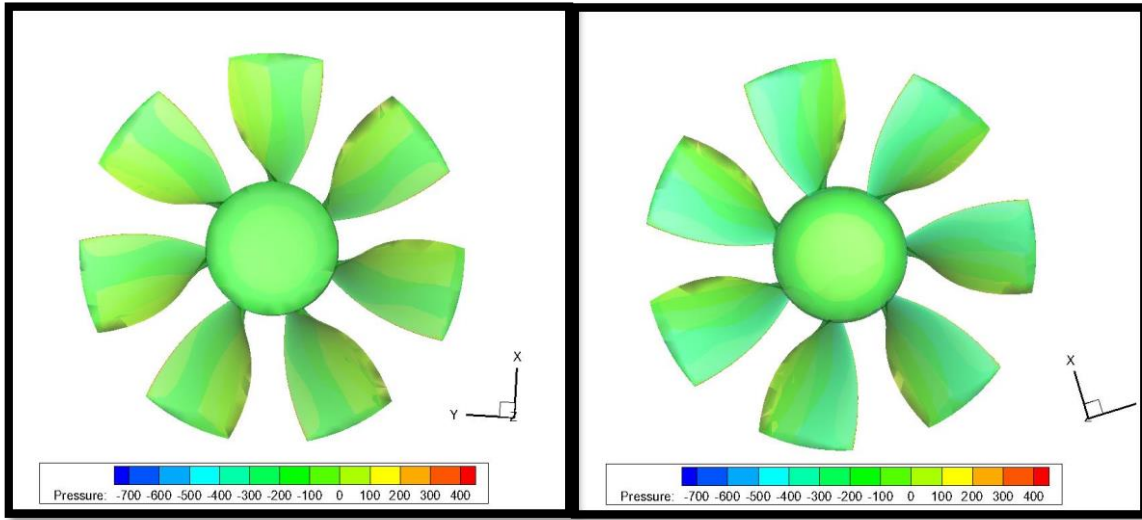
الشكل 26.4 الضغط الكلي للمروحة داخل الجملة



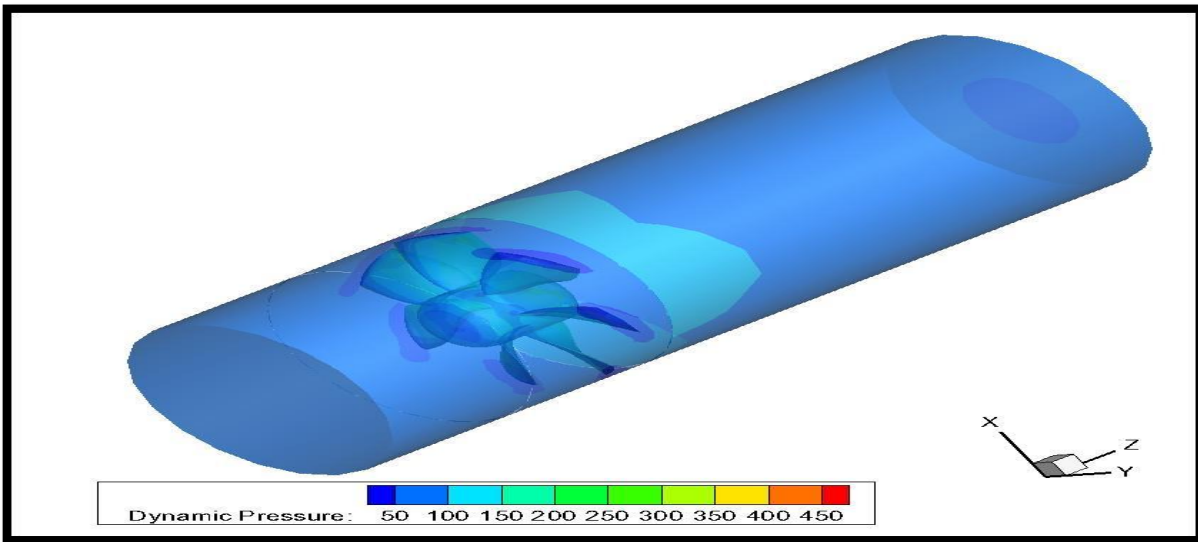
الشكل 27.4 الضغط الكلي للمروحة، البطن (اليمين)، الظهر (اليسار)



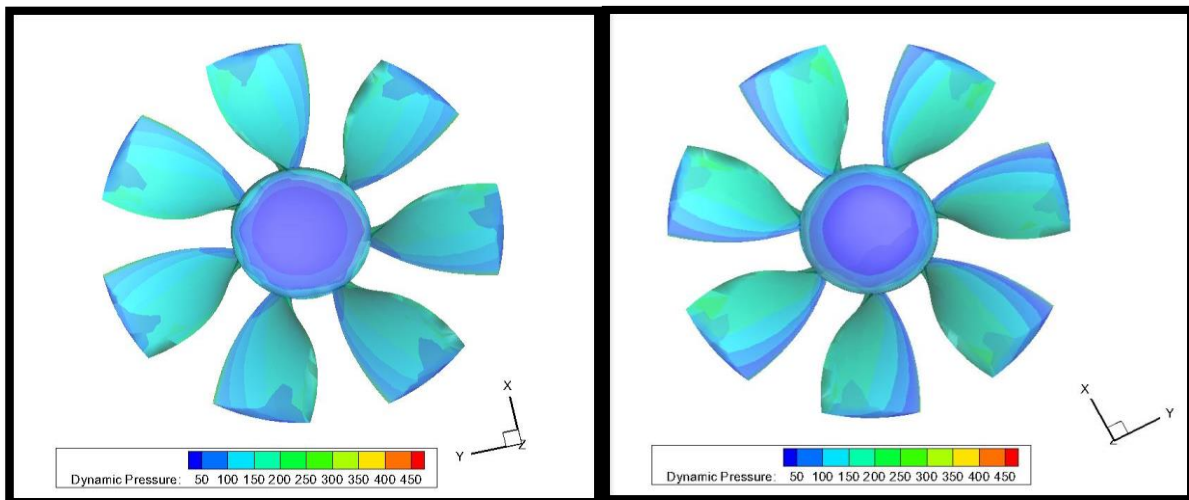
الشكل 28.4 الضغط الساكن للمروحة داخل الجملة



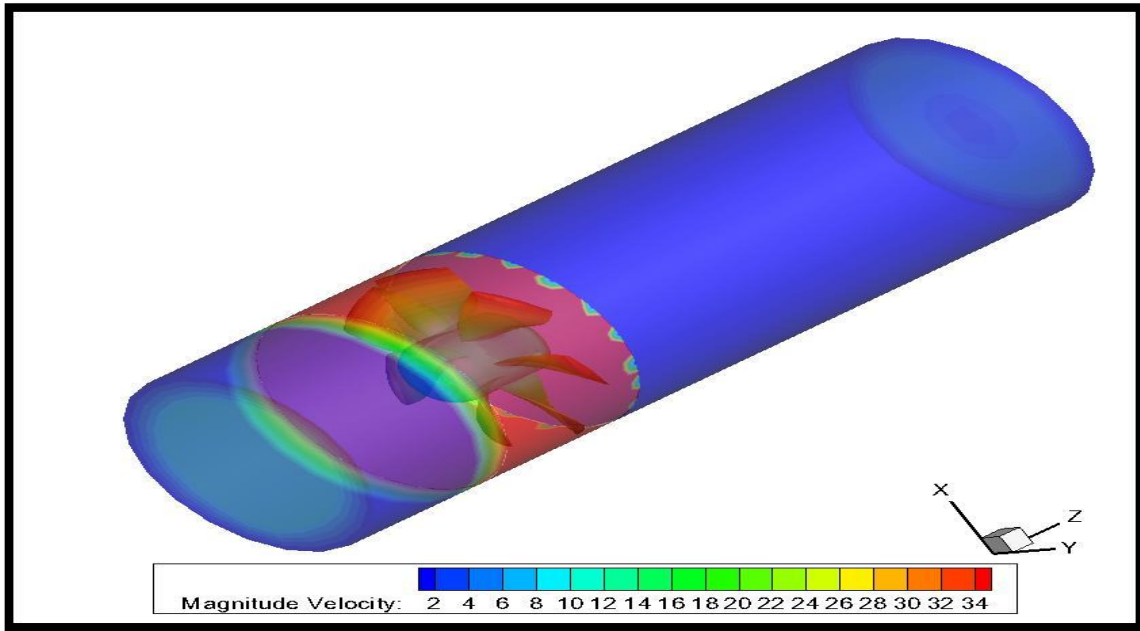
الشكل 29.4 الضغط الساكن للمروحة، البطن (اليمين)، البطن (اليسار)



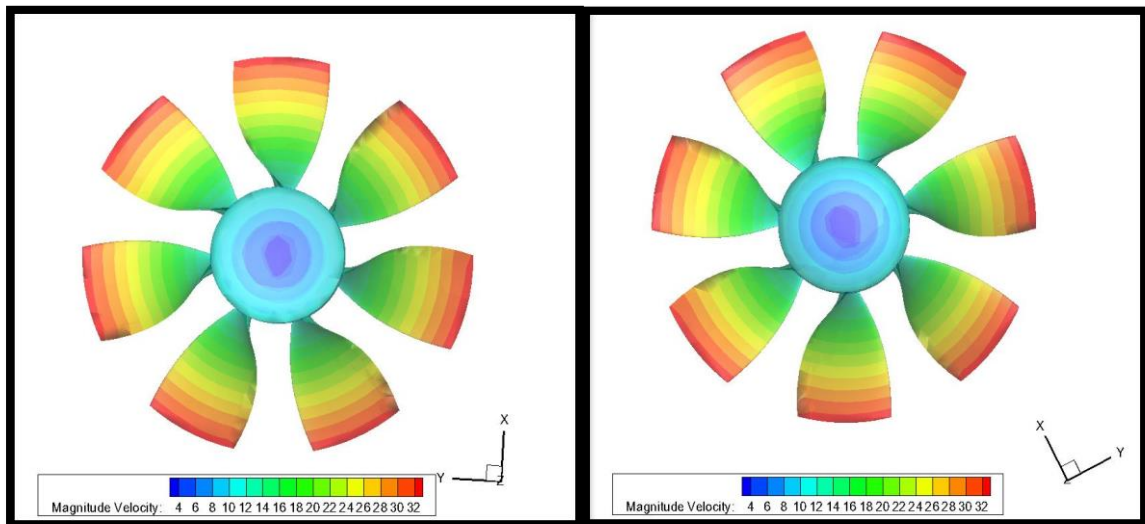
الشكل 30.4 الضغط الديناميكي للمروحة داخل الجملة



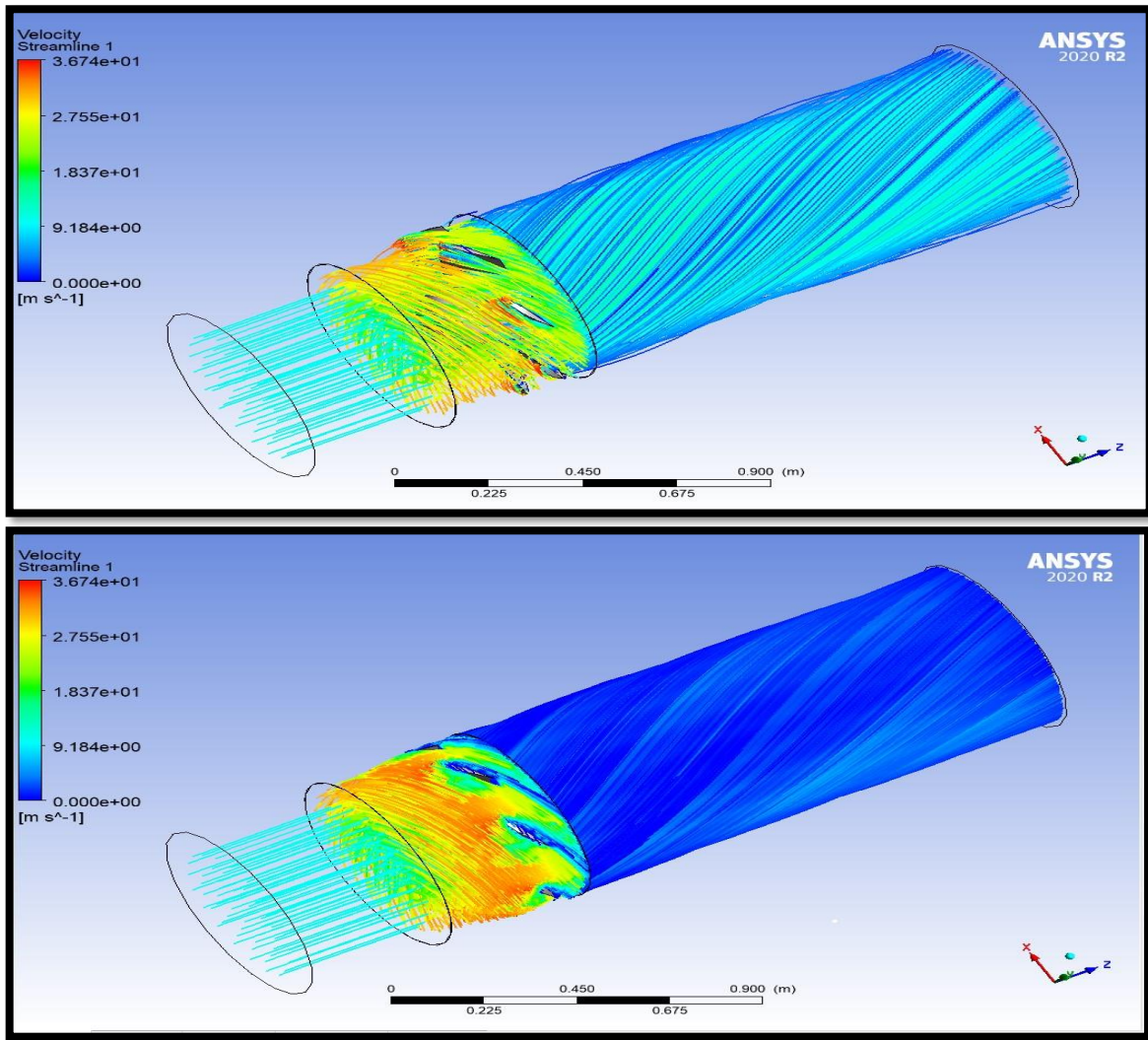
الشكل 31.4 الضغط الديناميكي للمروحة، البطن (اليمين)، الظهر (اليسار)



الشكل 32.4 محصلة السرعة للمروحة داخل الجملة



الشكل 33.4 محصلة السرعة للمروحة، البطن (اليمن)، الظهر (اليسار)



الشكل 34.4 خطوط التيار

2.4 المرحلة الثانية (عجلة دوارة وثابت)

تم القيام بمحاكاة لمروحة تتكون من عجلة دوارة وثابت وانطلاقاً من هذه العمليات تم التحصل على النتائج

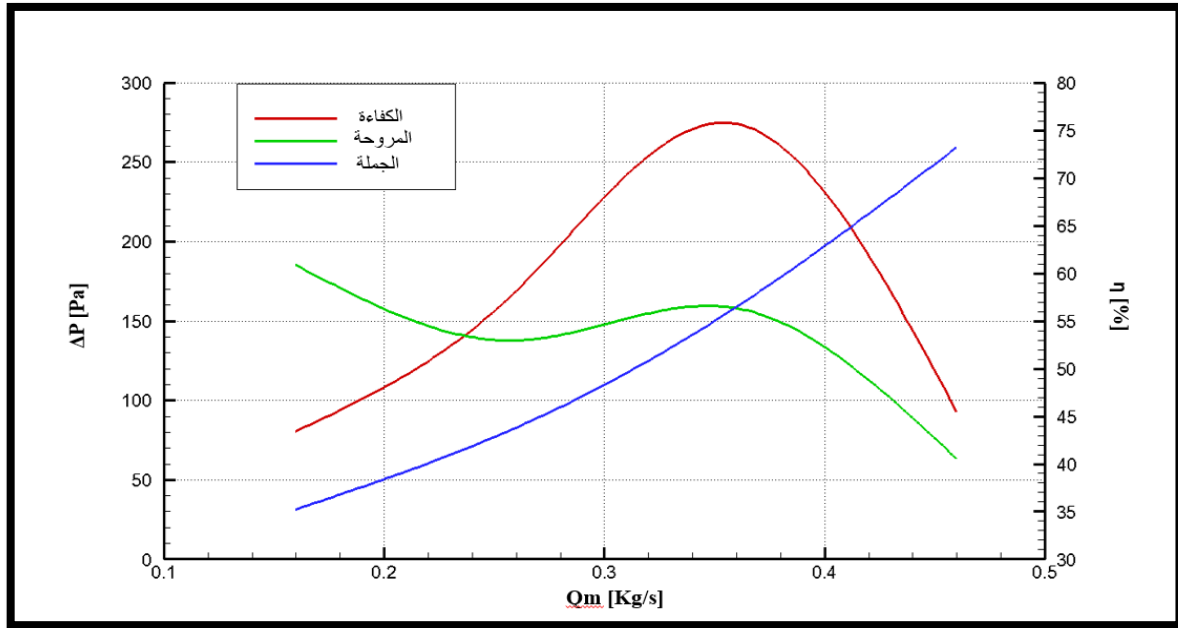
التالية:

جدول 9.4 نتائج الفرق في ضغط المروحة والعزم بدلالة تغير التدفق

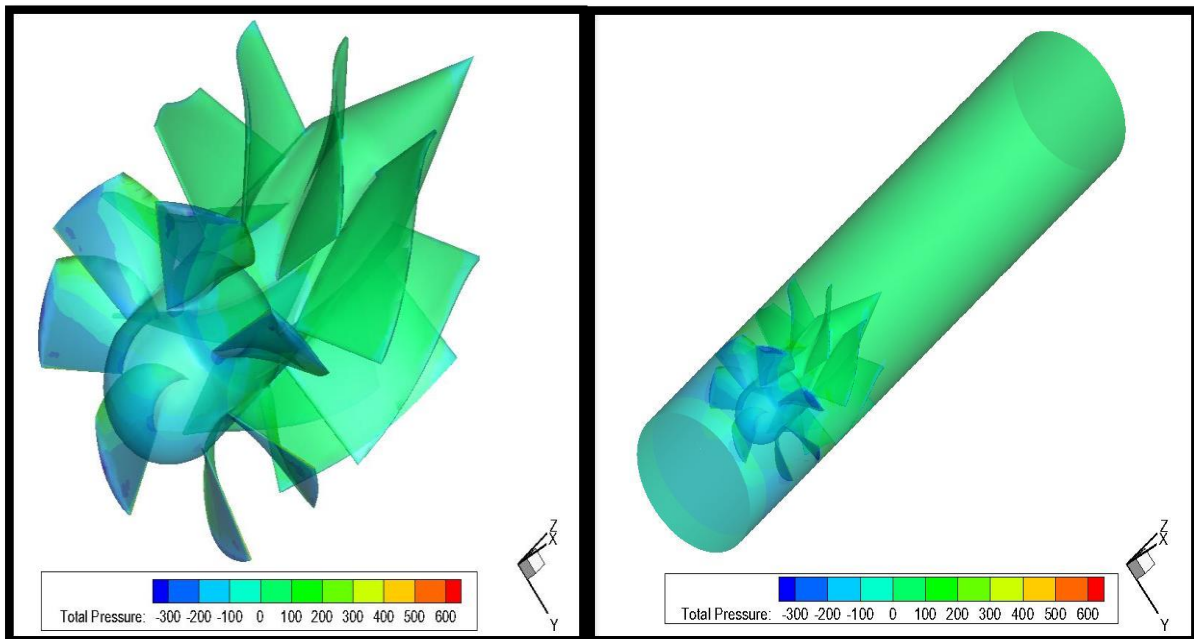
| ω [Rad/s] | T [N.m] | ΔP [Pa] | Q_m [Kg/s] |
|------------------|----------|-----------------|--------------|
| 314.159265 | 0.177474 | 185 | 0.16 |
| | 0.160252 | 137.7167 | 0.26 |
| | 0.195687 | 157.9446 | 0.36 |
| | 0.166186 | 63.05651 | 0.46 |

جدول 10.4 استطاعة وكفاءة المروحة بدلالة التدفق

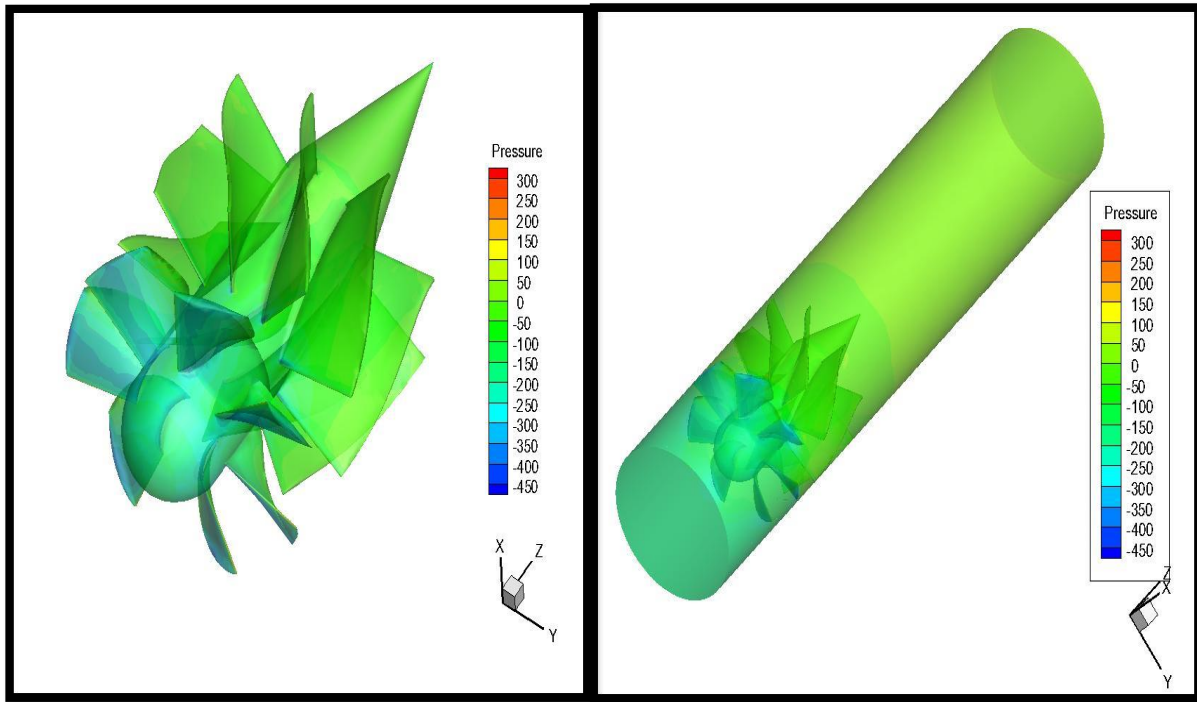
| η [%] | P_{U_f} [W] | Q_m [Kg/s] |
|-------------|---------------|--------------|
| 43.42687962 | 24.21267894 | 0.16 |
| 58.17779605 | 29.28943918 | 0.26 |
| 75.65662469 | 46.51129031 | 0.36 |
| 45.44585045 | 23.7267857 | 0.46 |



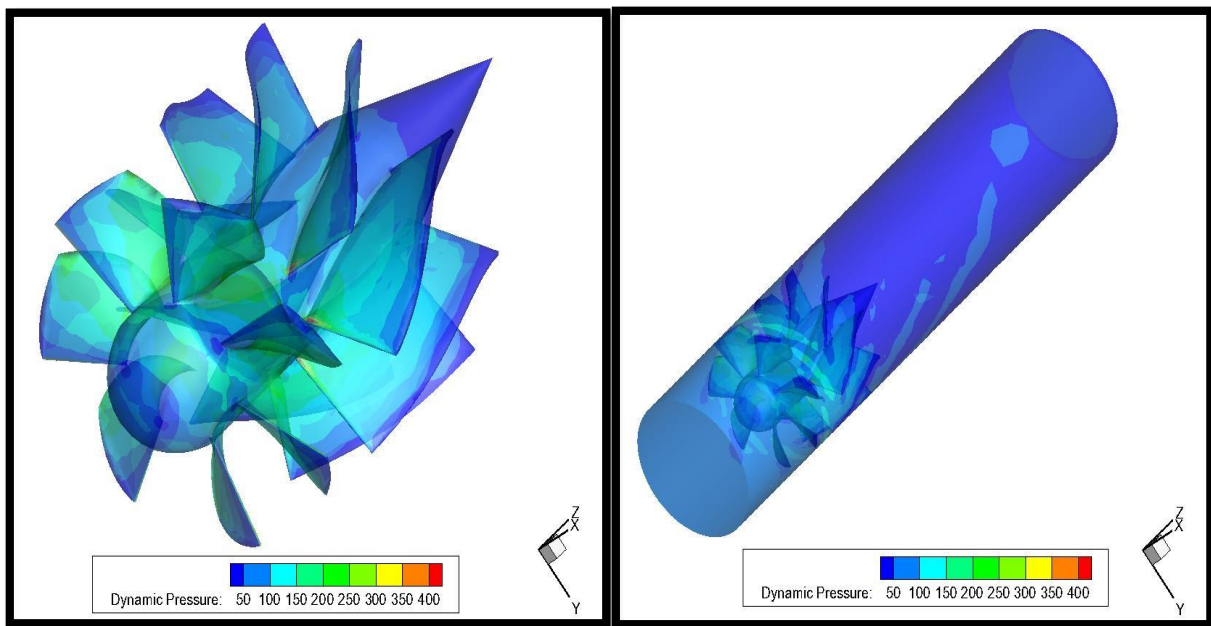
الشكل 35.4 منحنيات الفرق في ضغط المروحة والجملة وكفاءة المروحة



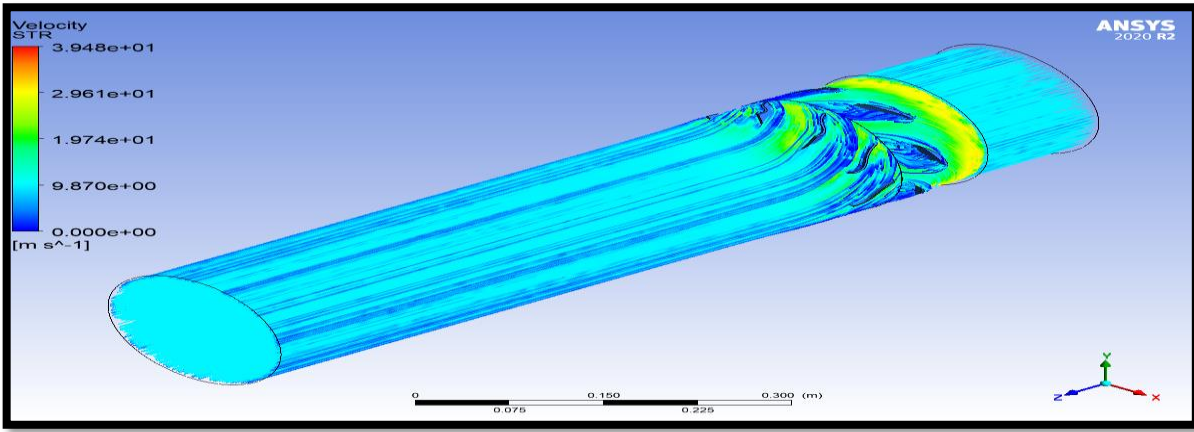
الشكل 36.4 الضغط الكلي للمروحة، داخل الجملة (اليمين)، لئوحدها (اليسار)



الشكل 37.4 الضغط الساكن للمروحة، داخل الجملة (اليمين)، لوحتها (اليسار)



الشكل 38.4 الضغط الديناميكي للمروحة، داخل الجملة (اليمين)، لوحتها (اليسار)



الشكل 39.4 خطوط التيار

5 التعليقات

• للمروحة الصغيرة

حسب المعطيات المقدمة في الملحق (1) فإن الفرق في ضغط الجملة يتزايد على طول المجال وذلك لأنه يتعلق بسرعة جريان المائع فكلما زادت سرعته زاد الفرق في الضغط الناتج عن الجملة.

أما عن الفرق في ضغط المروحة فهو الضغط الذي ينتج بين مدخل ومخرج المروحة عند دورانها فنلاحظ حسب القيم المعطاة من المحاكاة أن هذا الفرق يكون متزايد نسبياً عند التدفقات الصغيرة (مجال التوقف) ثم يبدأ في الانخفاض كلما زادت قيمة التدفق (مجال التشغيل).

في حالة الكفاءة ينقسم المجال إلى منطقتين منطقة تزايد ومنطقة تناقص.

في منطقة التزايد وهي من القيمة 0.16 وصولاً للقيمة 0.31 والتي تمثل أعظم قيمة لهذا المقدار 88% وبعد تناقص القيم وصولاً للقيمة 66% والتي تكون عند تدفق كتلي يساوي 0.5.

يتم تفسير هذه الظاهر بأن الكفاءة تتعلق بكل من التدفق الحجمي والفرق في ضغط المروحة والعزم الدوراني الذي بدوره متعلق بالمروحة فكلما زاد التدفق والفرق في الضغط زادت كفاءة.

توجد في هذا المنحنى (13.4) نقطة تقاطع والتي تمثل نقطة التصميم والتي وجدت عند النقطة ذات الكفاءة 84.78% والتي احداثيتها كالتالي (PD(DPFAN:172.277;DPSYSTEME:171.889;MFR:0.37) والتي هي قريبة جدا من نقطة التصميم في حالتنا وهي 0.36.

أما بالنسبة لمنحنيات الضغوط فنلاحظ أن الضغط الكلي والساكن في مرحلة الدخول يتناقصان وذلك راجع الى الضياعات التي تحدث في داخل القناة على عكس الضغط الديناميكي الذي يزيد وذلك لتعلقه بمحصلة السرعات، ثم في المرحلة التي تليها (جزء المروحة) فتتزايد جميع الضغوط بسبب فرق الضغط الذي تنتجه المروحة من خلال دورانها وفي المرحلة الأخيرة تتناقص فيصبح الضغط الساكن مساويا للضغط الجوي وبالتالي يصبح الضغط الكلي يساوي الديناميكي وذلك حسب نظرية برنولي.

• المروحة الكبيرة

إن نفس الظاهرة التي حدثت في المروحة الأولى حدثت في هذه أيضا وبالتالي سنتحدث عن التغيرات التي حدثت في منحنى التشغيل الخاص بالمروحة.

تتزايد قيم فرق الضغط الخاص بالمروحة في المجال [2.5-3.6] والتي كما ذكرنا سابقا أنها تسمى منطقة التوقف ثم تليها منطقة التشغيل وهي التي تكون فيها الضياعات الخاصة بالجملة أكبر من أو تساوي فرق ضغط المروحة.

نقطة التصميم في هذه الحالة كانت قريبة جدا من التدفق الذي تم فرضه لتصميم هاته المروحة والذي يحمل القيمة 4.18 Kg/s والذي وجدت فيها كفاءة بمقدار 58.45% أما عن نقطة التصميم فكفاءتها كانت 56.47%.

• المروحة (جزء دوار وثابت)

لاحظنا أن هذا المثال كان أقرب للواقع من المثالين الآخرين حيث الفرق في ضغط المروحة بدأ في التناقص من البداية وذلك بسبب تأثير الثابت والذي يمثل دور هام في هذه المنظومة وذلك بتوجيهه للهواء الخارج من المروحة وكذا يقلل من الاهتزازات وبذلك يوفر أداء مثالي للمروحة كما أن الضياعات في الجملة تتزايد على طول المجال.

في هذه الحالة وجدنا أن نقطة التصميم تنطبق تماما على ما فرضناه في برنامج CFturbo وهي النقطة ذات الدفع 0.36 Kg/s .

وجدنا أن أعظم قيمة للكفاءة أتت في نقطة التصميم وأخذت القيمة 75.65% كما أن المنحنى البياني الممثل للكفاءة يبدأ في التناقص بعد القيمة الاعظمية في نقطة التصميم وصولا إلى نقطة الانفلات الحر.

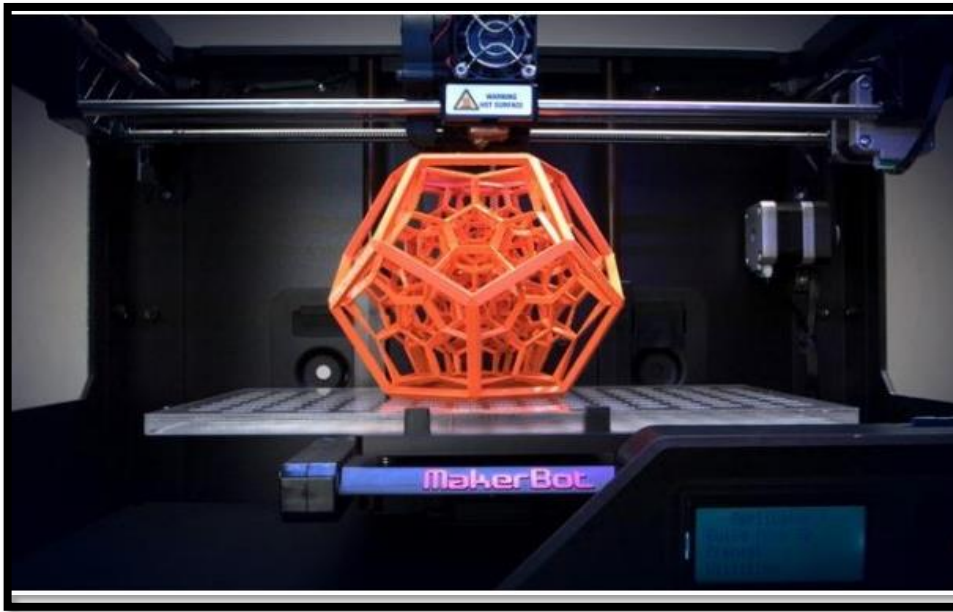
الفصل الخامس

التجسير

المقدمة

تعد الطباعة ثلاثية الأبعاد أحد أبرز تطورات الثورة التكنولوجية في العصر الحديث. فقد انتقلت هذه التقنية إلى العديد من المجالات والصناعات المختلفة في حياة الإنسان اليومية، بما في ذلك مجالات التشييد والبناء والطب. تُعتبر الطباعة ثلاثية الأبعاد تقنية مبتكرة تتيح لنا إنشاء أجسام ملموسة من خلال نموذج رقمي.

تُعرف الطباعة ثلاثية الأبعاد أيضًا باسم "التصنيع الإضافي"، حيث يتم تحويل النموذج الرقمي إلى سلسلة من الشرائح الأفقية باستخدام لغة الآلة.



الشكل 1.5 نموذج لطباعة 3D

1 تعريف الطابعة ثلاثية البعاد



الشكل 2.5 طابعة Ender 3D max

الطابعة ثلاثية الأبعاد هي تقنية مبتكرة تمكنك من إنشاء المجسمات من خلال نموذج رقمي . وهو ينطوي على عملية أخذ النموذج الرقمي، وترجمته إلى سلسلة من شرائح أفقية في لغة الآلة، ثم طباعته عن طريق إضافة طبقات متعاقبة ودقيقة جداً يتجاوز سمكها أجزاء من

الميليمتر من المواد حتى يتم إنشاء المجسم ثلاثي الأبعاد باستخدام عدد من التقنيات المختلفة.

2 كيفية اختيار المواد المناسبة

يجب اخذ بعين الاعتبار نوع الخيط المستعمل للطباعة لاختلاف خصائصهم واختلاف اقطارهم حسب الطابعة المستعملة حيث ان الاقطار الاكثر شيوعا للخيوط المستخدمة هي 1.75 ملم و3.00 ملم. تم تصميم كل نموذج للطابعات للعمل مع قطر واحد فقط لذا يجب الاطلاع على الوثائق الخاصة بالطابعة الخاصة بك.



الشكل 3.5 نماذج من أنواع الخيوط

➤ الطابعة الموجودة على مستوى مخبر الآلات التوربينية المستعملة في الدراسة بقطر 1.75 ملم
سنعرض من خلال الجداول التالية خصائص مختلف الخيوط المستعملة في الطباعة.

جدول 1.4 أنواع الخيوط و خصائصهم

| الخصائص | النوع |
|---|------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ❖ قوية سهلة الاستعمال، تتميز بالمتانة ❖ مثالية للمنتجات الاستهلاكية، الالعب الصغيرة ❖ مرونة محدودة جدا، وهش قليلا ❖ غير قابل للذوبان ❖ اقل قوة من ABS | PLA |
| <ul style="list-style-type: none"> ❖ متانة عالية قوة جيدة ومقاومة الصدمات ❖ مثالية للأجزاء المتحركة القطع الالية والعب الاطفال ❖ قابلة للذوبان بالأسيتون ❖ لا يعتبر امن للاستخدام مع المواد الغذائية ❖ سهلة المعالجة بعد الطباعة | ABS |
| <ul style="list-style-type: none"> ❖ القوة العالية والمتانة والمرونة ❖ مثالية للأجزاء الميكانيكية الاجزاء الهيكلية التروس والمحامل الاحمال الديناميكية ❖ امكانية اعادة تدويره | Nylon البوليمر الاصطناعية |
| <ul style="list-style-type: none"> ❖ متانة عالية ❖ مرونة منخفضة ❖ قابلة للذوبان بمختلف المذيبات ❖ قابلة للتحلل لها لون ابيض | HIPS |

3 مرحلة التصميم ببرنامج SolidWorks

1.3 تعريف البرنامج

برنامج SolidWorks هو برنامج تصميم ثلاثي الأبعاد (3D) يستخدم في الهندسة الميكانيكية وتصميم الأجسام والمكونات ثلاثية الأبعاد.

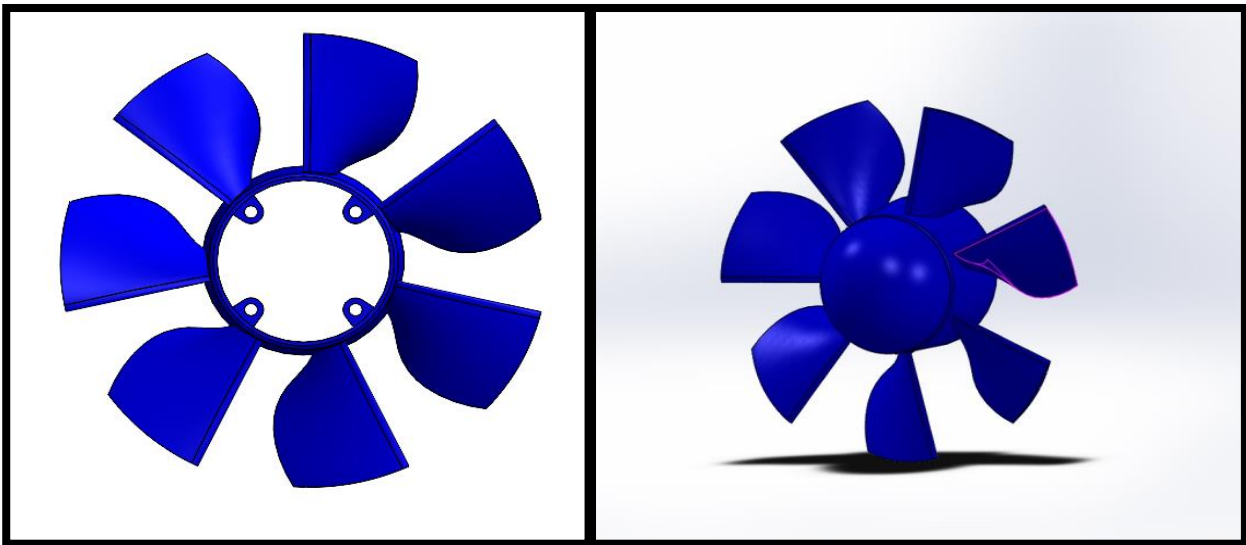
يستخدم في مجموعة متنوعة من الصناعات مثل الهندسة الميكانيكية، وتصميم السيارات، وتصنيع القوالب، والهندسة الكهربائية، والتصميم المعماري، والطباعة ثلاثية الأبعاد، وغيرها. يمكن استخدامه لإنشاء وتصميم الأجزاء والمكونات والتجميعات، وتحليل التصاميم، وإنشاء الرسومات الهندسية والتصاميم التفصيلية.

➤ تم من خلال هذا البرنامج القيام بتعديل المروحة المحورية التي تم تصديرها من برنامج CFturbo بصيغة STEP التي يقرأها البرنامج، حيث تم تقطيعها وذلك من أجل تسهيل عملية الطباعة.

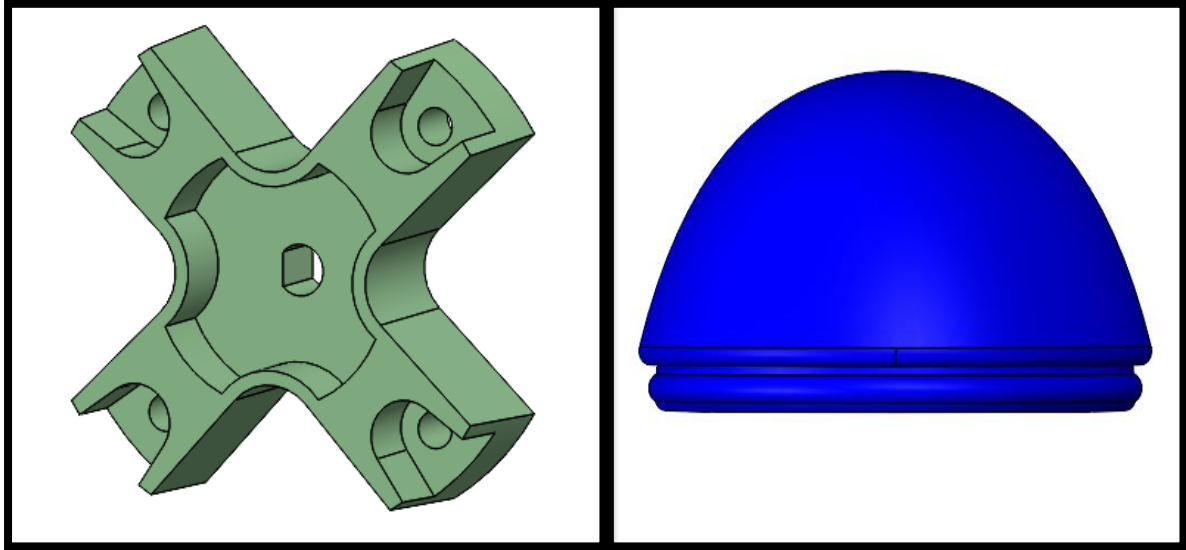
1.1.3 تصميم الجزء الدوار

➤ أولا تم التعديل على هذا الجزء بتقسيمه الى جزئين المروحة وغطائها كما موضح بالشكل (4.5)

➤ ثانيا تم تصميم القطعة التي تربط بين المحرك والمروحة الشكل (5.5).



الشكل 4.5 المروحة من واجهة برنامج SOLID WORKS

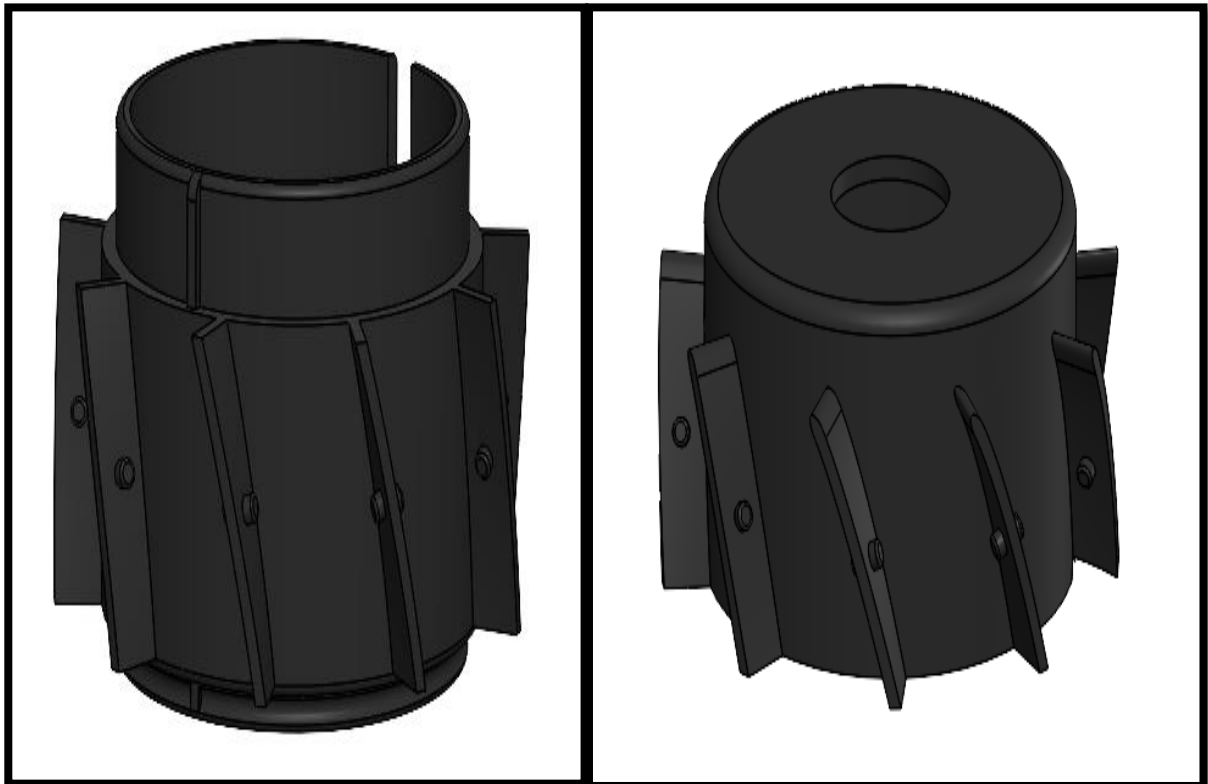


الشكل 5.5 أنف المروحة (اليمين)، وصلة بين المحرك والمروحة (اليسار)

2.1.3 تصميم الجزء الثابت للمروحة

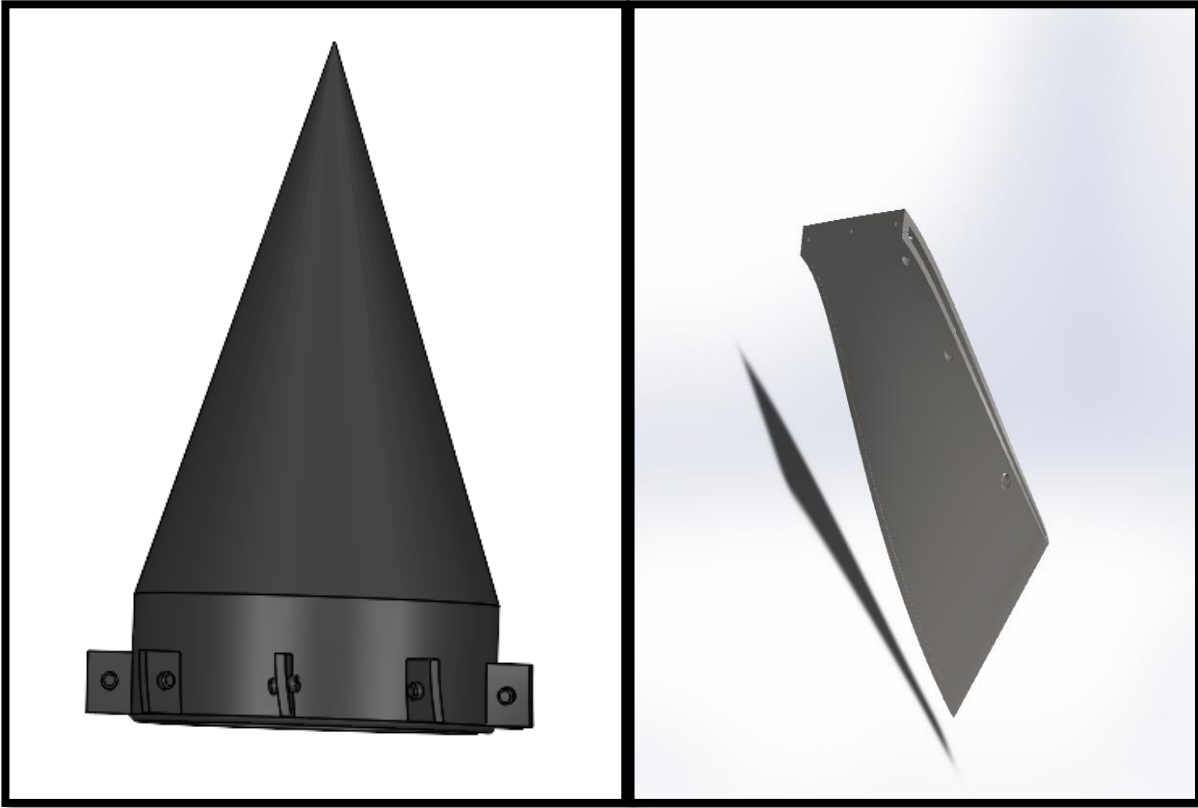
➤ في هذه المرحلة تم تصميم الغطاء الخارجي للمحرك الذي سيكون حاملا للثابت من خلال ابعاد المحرك

المستعمل في هذه الدراسة الشكل (6.5).

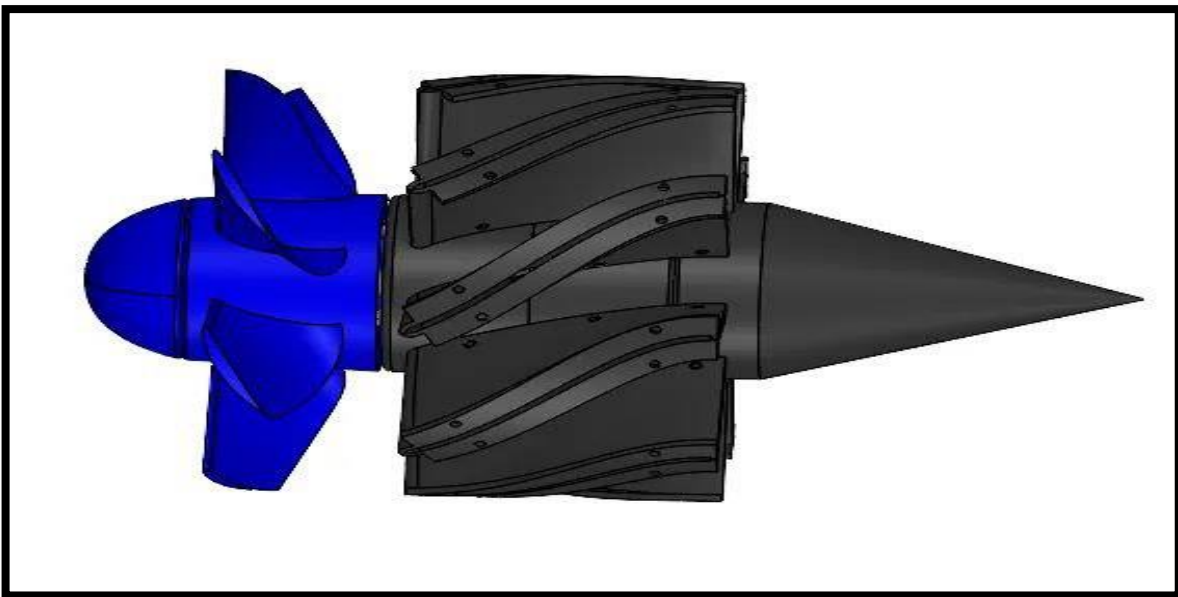


الشكل 6.5 جذر الجزء الدوار (غطاء المحرك)

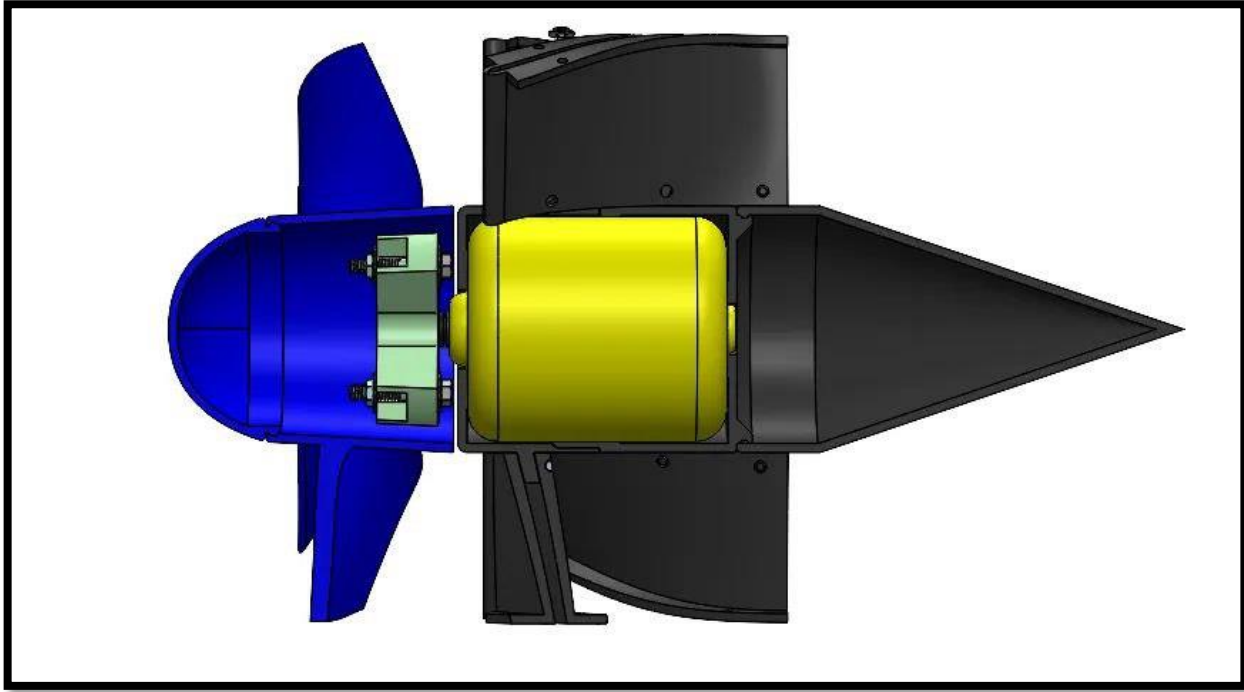
من ثم تم استيراد الثابت المصمم في برنامج واجراء بعض التغييرات ايضا عليه بتفكيك الاجنحة عن المحور لتسهيل طباعتها وتركيبها داخل النفق كما في الشكل (7.5).



الشكل 7.5 جناح الجزء الثابت (اليمن)، مخرج الجزء الثابت (اليسار)



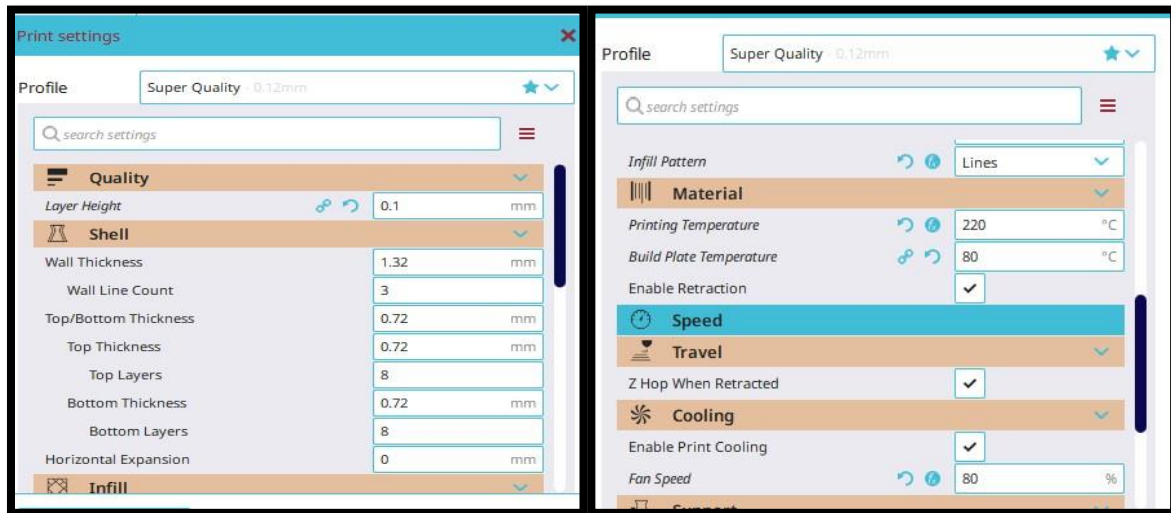
الشكل 8.5 الشكل النهائي للمروحة



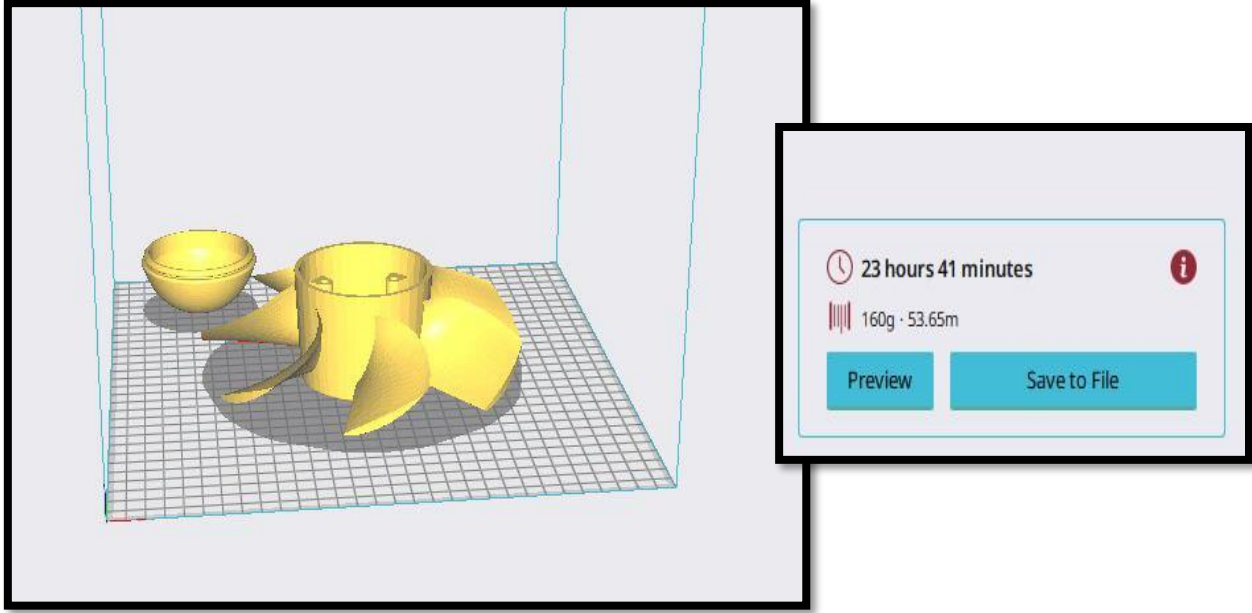
الشكل 9.5 مقطع طولي للمروحة

4 التقطيع

بعد عملية التصميم والتعديل ببرنامج SolidWorks يتم تصدير الملف الذي حفظ على شكل STL الى برنامج السليسر او الكيورا ليتم تقطيعه وضبط بعض معطيات الطباعة مثل سرعة الفوهة وحرارتها سرعة المنصة وحرارتها والحامل الذي يتم الطباعة عليه ...



الشكل 10.5 واجهة إعدادات سليسر



الشكل 11.5 واجهة برنامج سليس مع الوقت المستغرق لطباعة القطعة

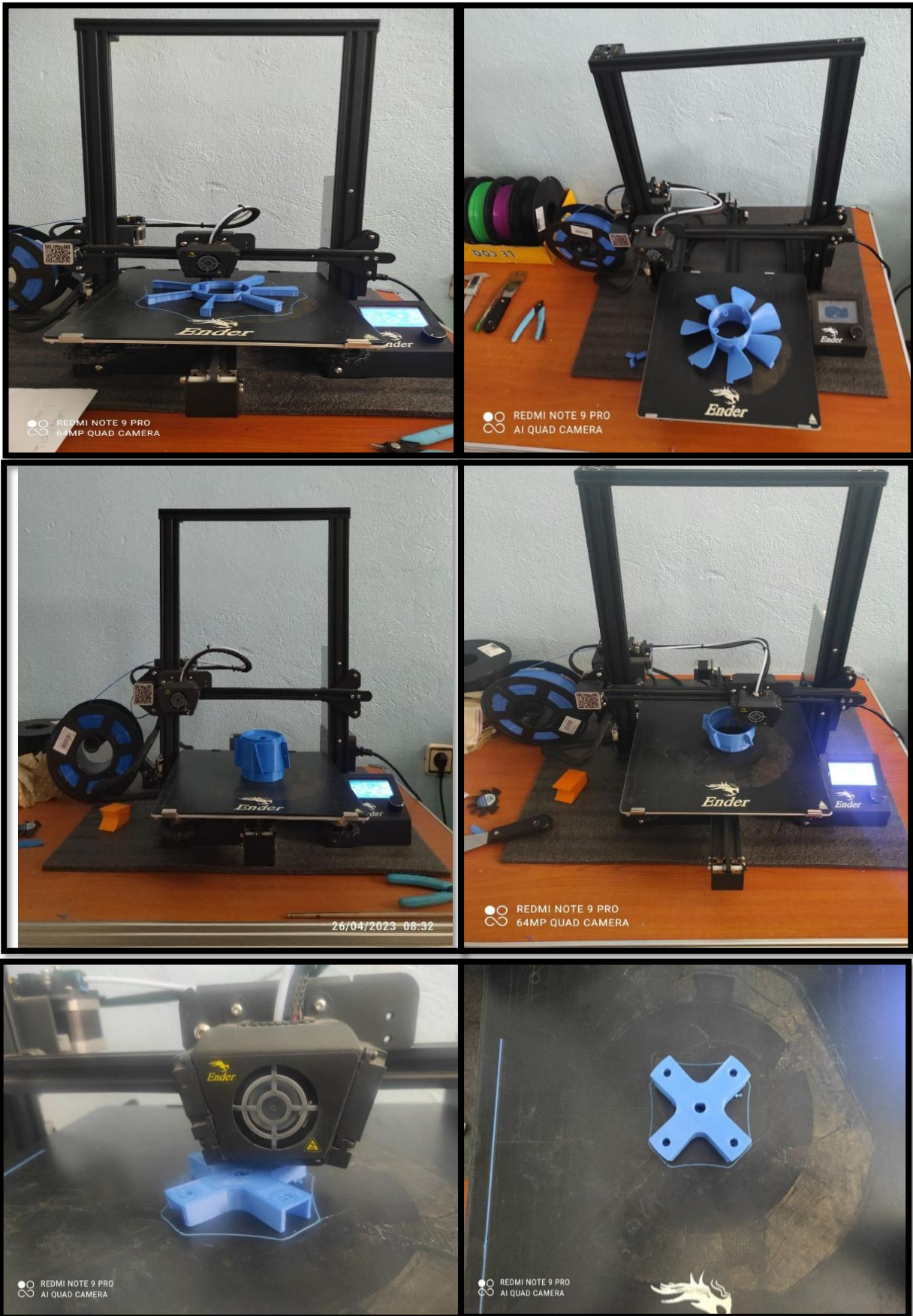
➤ تم تقطيع جميع القطع بنفس هذه الطريقة قبل طباعتها.

5 مرحلة الطبع

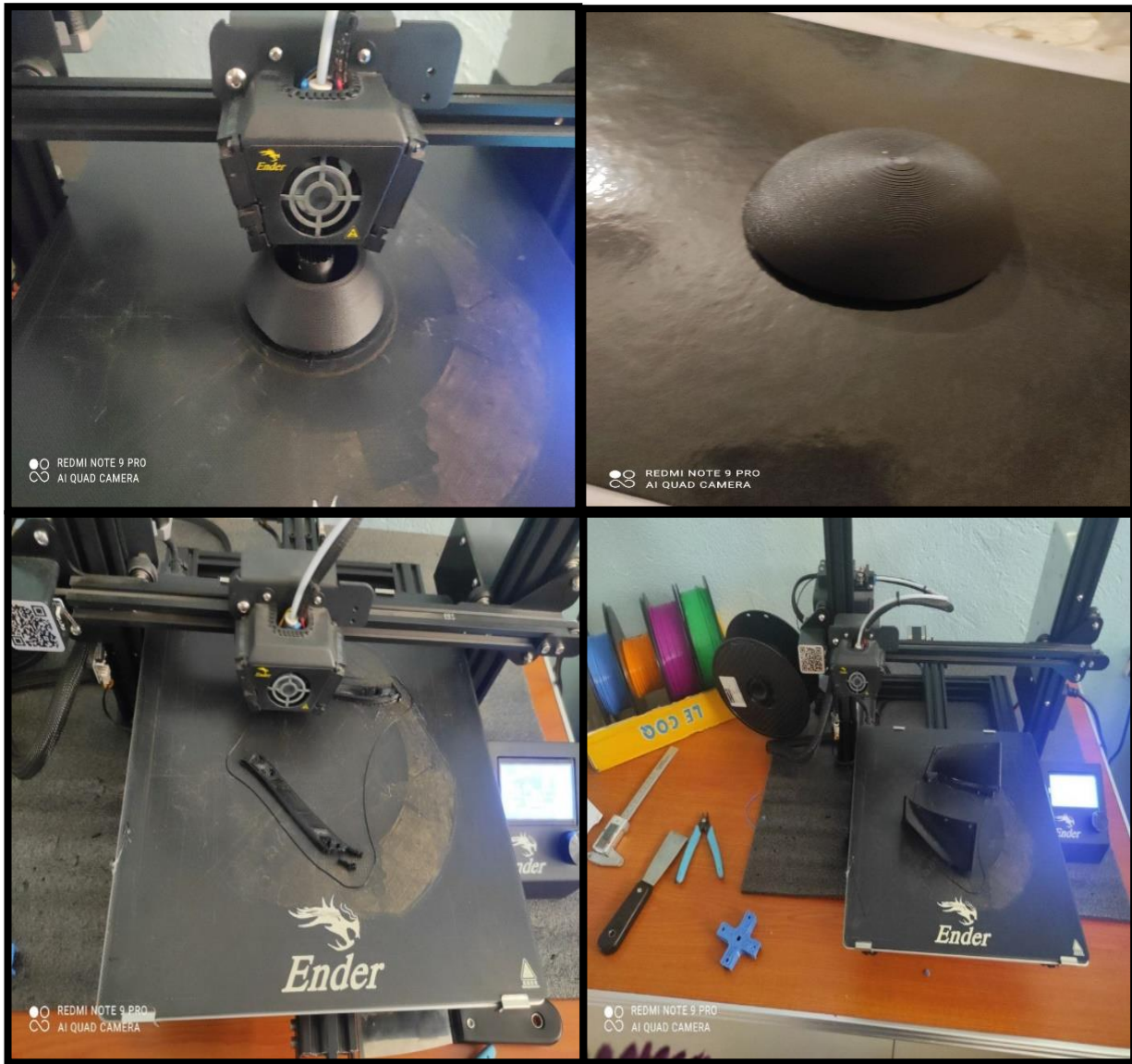
تم استعمال الطابعة Ender 3D max الموجودة على مستوى مخبر حيث نقوم بإدخال نفس المعطيات التي تم تثبيتها على مستوى برامج التقطيع تم تقريبا اعتماد المعطيات التالية التي في الجدول (2.5) الا في بعض الحالات يتم التغير في المعطيات حسب طبيعة الجو.

جدول 2.5 مدخلات الطباعة

| | |
|-------|--------------|
| 220°C | حرارة الفوهة |
| 80°C | حرارة المنصة |
| 80% | سرعة المروحة |

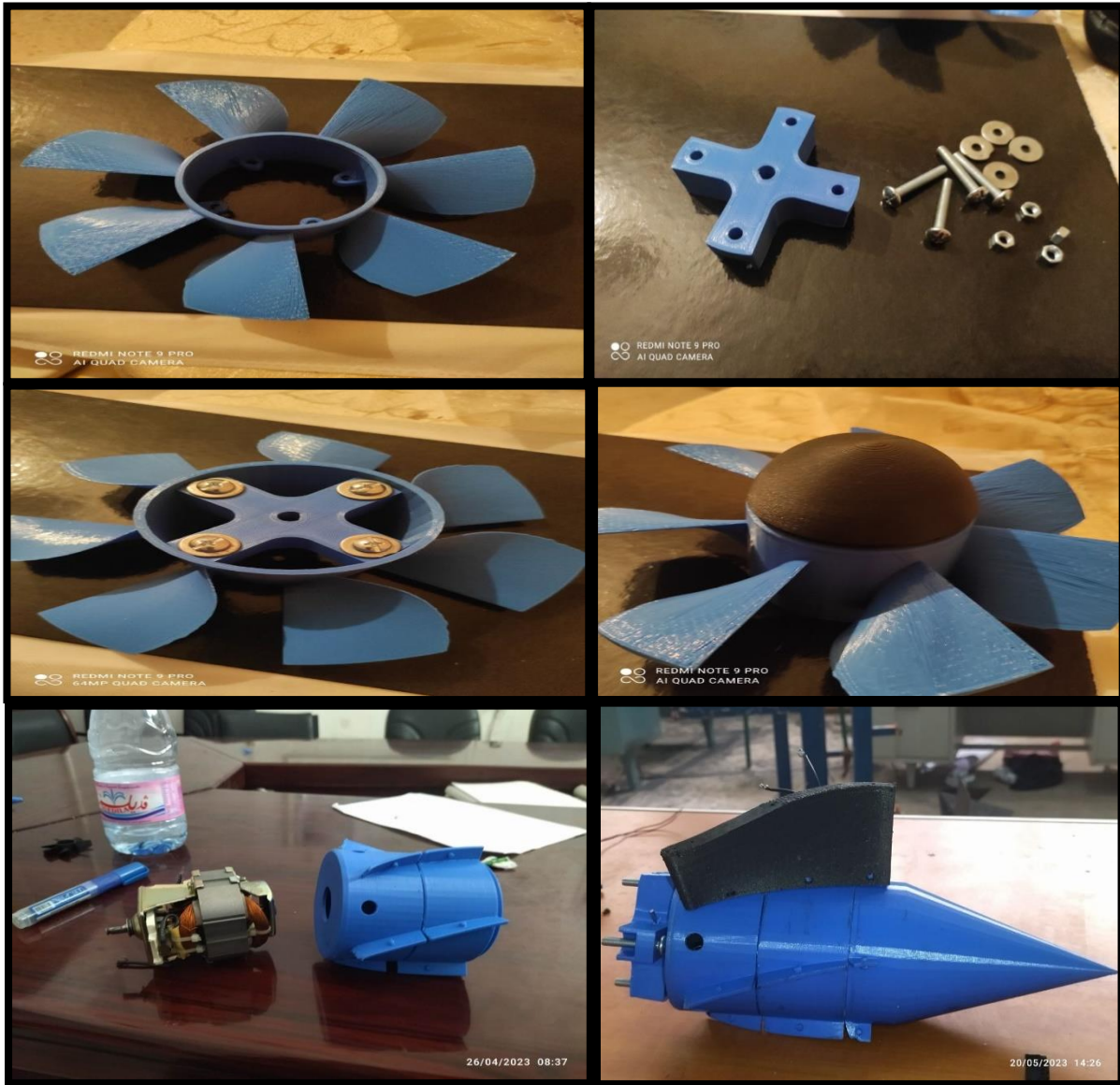


الشكل 12.5 مرحلة الطباعة

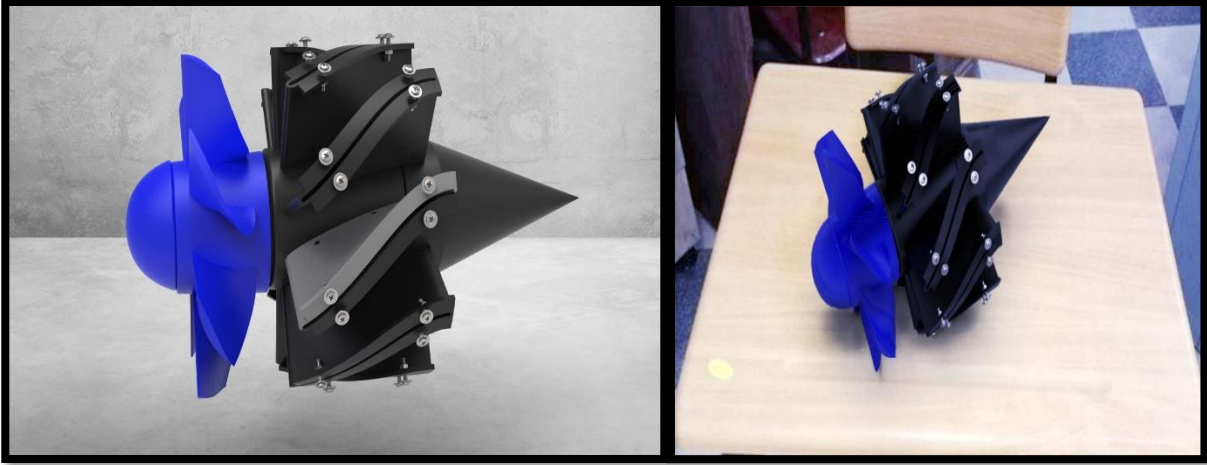


الشكل 13.5 تابع لمرحلة الطباعة

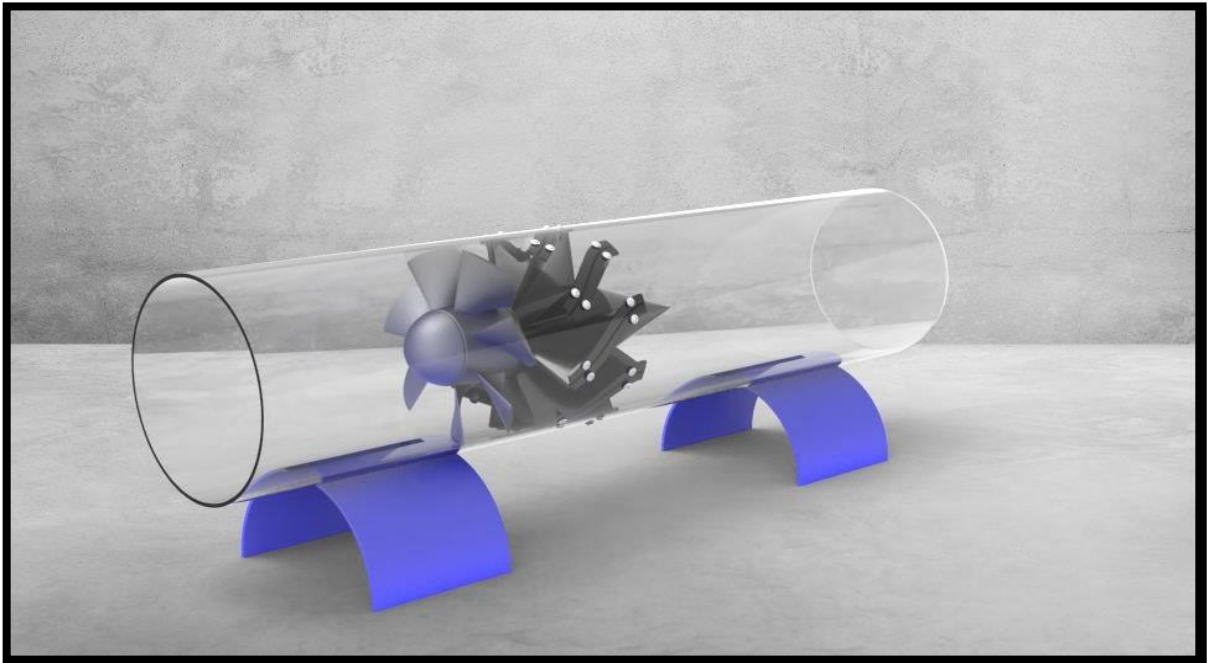
6 مرحلة تجميع وتثبيت القطع



الشكل 14.5 مرحلة تجميع القطع



الشكل 15.5 المروحة المحورية



الشكل 16.5 المروحة المحورية داخل الأنبوب

الكتابة العامة

الخاتمة العامة

هدفت هذه الدراسة إلى تصميم مروحة محورية تستخدم كجهاز نافث أو ممتص للهواء داخل نفق هوائي، وذلك لإجراء التجارب العلمية وقياس الظواهر الايروديناميكية، مثل قياس خصائص الجريانات على الأجنحة. تستخدم هذه المروحة في مختلف المجالات، مثل الصناعة والبحث العلمي والمناجم ومجالات التهوية والتبريد والتسخين.

في هذه المذكرة، تم إجراء دراسة تصميمية للمروحة المحورية وتحليل أدائها. تم تقسيم الدراسة إلى ثلاث محطات رئيسية لتحقيق هذا المشروع.

في المحطة الأولى، تم دراسة الخصائص الهندسية لتصميم المروحة المحورية واختيار مقاربة شبكة جنيحات لما تحمل من صلابة عالية. ثم تم حساب المعلمات الأولية للتصميم باستخدام برنامج تصميم الآلات التوربينية CFTurbo. واستنادًا إلى هذه الحسابات، تم الحصول على النموذج ثلاثي الأبعاد الخاص بالنفق الهوائي الذي تم دراسته في المحطة الأولى.

في المحطة الثانية، تم استيراد التصميم إلى برنامج Ansys Fluent لإنشاء مجال الدراسة للمروحة المحورية. من خلال هذا البرنامج، تم تحليل أداء المروحة والحصول على منحنى أداء المروحة ومنحنى الاستطاعة والكفاءة. ومن خلال هذه النتائج، تم تحديد نقطة التصميم المثلى وكفاءة المروحة المحورية. تم أيضًا دراسة سلوك المروحة وتغير الضغط عبر عدة محطات باستخدام تدفق الهواء.

في المحطة الثالثة والأخيرة، تم تعديل التصميم باستخدام البرنامج solidworks، وتم ربط المحرك بالمروحة وتصميم محور ثابت لتوجيه الهواء. ثم تم تقسيم التصميم باستخدام برامج الطباعة ثلاثية الأبعاد، وتم طباعة هذا النموذج. تم تثبيت المروحة ثم تشغيلها داخل النفق الهوائي لإنجاح هذه الدراسة.

كعمل مستقبلي، يُقترح إجراء وتجسيد التصميم في نفق هوائي أكبر ودراسة أداء المروحة في تدفقات هوائية عالية، ومقارنتها مع التصميم الحالي، للتحقق من أداء المراوح وكفاءتها.

قائمة المصادر

والمراجع

قائمة المصادر ولمراجع

- [1] T. Djabir, Design, Performance Analysis and Realization of an, Mechanical Engineering: The Degree of Master of Science, 2021.
- [2] P. B. Frank, Fan handbook: selection, application, and design, McGraw-Hill, 1997.
- [3] Cory, WTW Bill, Fan and Ventilation A Pratical Guide, ELSEVIER, 2005.
- [4] Ö. K. HAYRETTİN, DESIGN, CONSTRUCTION AND PERFORMANCE EVALUATION OF AXIAL, MECHANICAL ENGINEERING, MECHANICAL ENGINEERING: THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE, 2019.
- [5] R. A. Wallis, Axial Flow Fans and Ducts., Malabar, FL: USA: Krieger Publishing, 1993.
- [6] A. A. Daniel et K. Amir, Cooling Fan Optimization for Heavy, MECHANICAL ENGINEERING: THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE, 2020.
- [7] A. C. Yunus, Fluid Mechanics: Fundamentals And Applications (Si Units)., Tata McGraw Hill Education Private Limited, 2010.

الملاحق

| VITESSE | الكتلة الحجمية | Dh | المساحة | التدفق | الطول | ξ | λ | APs | APL | APT | PU |
|-----------|----------------|-------|-----------|--------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 4.3846228 | 1.2225 | 0.195 | 0.0298496 | 0.16 | 0.922 | 2.5 | 0.036 | 29.378076 | 2.0002402 | 31.378316 | 5.0205306 |
| 5.4807785 | 1.2225 | 0.195 | 0.0298496 | 0.2 | 0.922 | 2.5 | 0.036 | 45.903244 | 3.1253753 | 49.028619 | 9.8057238 |
| 7.125012 | 1.2225 | 0.195 | 0.0298496 | 0.26 | 0.922 | 2.5 | 0.036 | 77.576482 | 5.2818843 | 82.858367 | 21.543175 |
| 8.2211677 | 1.2225 | 0.195 | 0.0298496 | 0.3 | 0.922 | 2.5 | 0.036 | 103.2823 | 7.0320945 | 110.31439 | 33.094318 |
| 9.8654012 | 1.2225 | 0.195 | 0.0298496 | 0.36 | 0.922 | 2.5 | 0.036 | 148.72651 | 10.126216 | 158.85273 | 57.186981 |
| 10.961557 | 1.2225 | 0.195 | 0.0298496 | 0.4 | 0.922 | 2.5 | 0.036 | 183.61298 | 12.501501 | 196.11448 | 78.445791 |
| 12.60579 | 1.2225 | 0.195 | 0.0298496 | 0.46 | 0.922 | 2.5 | 0.036 | 242.82816 | 16.533235 | 259.3614 | 119.30624 |
| 13.701946 | 1.2225 | 0.195 | 0.0298496 | 0.5 | 0.922 | 2.5 | 0.036 | 286.89527 | 19.533596 | 306.42887 | 153.21444 |

الملحق 1 خصائص الجملة الخاصة بالمروحة الصغيرة

| VITESSE | الكتلة الحجمية | Dh | المساحة | التدفق | الطول | ξ | λ | APs | APL | APT | PU |
|----------|----------------|------|----------|--------|-------|-----|-------|----------|----------|----------|----------|
| 5.980447 | 1.2225 | 0.66 | 0.341946 | 2.5 | 2.07 | 2.5 | 0.022 | 54.65452 | 1.508465 | 56.16299 | 140.4075 |
| 7.176536 | 1.2225 | 0.66 | 0.341946 | 3 | 2.07 | 2.5 | 0.022 | 78.70251 | 2.172189 | 80.8747 | 242.6241 |
| 8.372625 | 1.2225 | 0.66 | 0.341946 | 3.5 | 2.07 | 2.5 | 0.022 | 107.1229 | 2.956591 | 110.0795 | 385.2781 |
| 9.999307 | 1.2225 | 0.66 | 0.341946 | 4.18 | 2.07 | 2.5 | 0.022 | 152.7913 | 4.21704 | 157.0083 | 656.2949 |
| 10.7648 | 1.2225 | 0.66 | 0.341946 | 4.5 | 2.07 | 2.5 | 0.022 | 177.0807 | 4.887426 | 181.9681 | 818.8564 |
| 11.96089 | 1.2225 | 0.66 | 0.341946 | 5 | 2.07 | 2.5 | 0.022 | 218.6181 | 6.033859 | 224.652 | 1123.26 |
| 13.15698 | 1.2225 | 0.66 | 0.341946 | 5.5 | 2.07 | 2.5 | 0.022 | 264.5279 | 7.30097 | 271.8289 | 1495.059 |

الملحق 2 خصائص الجملة المتعلقة بالمروحة الكبيرة

المخلص

المخلص

تتمحور هذه دراسة حول تصميم مروحة محورية نافث أو ممتص للهواء داخل نفق هوائي يستعمل لإجراء التجارب العلمية من أجل قياس الظواهر الايروديناميكية كقياس خصائص الجريانات على الأجنحة حيث تم دراسة الخصائص الهندسية اولا لتصميم المروحة ، ثم تم الاستعانة ببرنامج CFTurbo لتصميم هذه الاخيرة من خلال معلمات الادخال الاولى من تدفق فرق الضغط سرعة الدوران ، ثم تم استيراد الملف من البرنامج على شكل ملف STEP الى برنامج Ansys Fluent لتحليل اداء المروحة ورصد كفاءتها ، اما كمرحلة اخيرة تم انشاء هذه المروحة المحورية من خلال التعديل عليها ببرنامج SolidWorks وطباعتها بالاستعانة بالطابعة ثلاثية الابعاد ومختلف الاجهزة لتجسيد هذا المشروع.

Résumé

Cette étude porte sur la conception d'une hélice axiale à flux soufflant ou aspirant à l'intérieur d'une soufflerie utilisée pour des expériences scientifiques visant à mesurer les phénomènes aérodynamiques tels que les caractéristiques des flux sur les ailes. Les caractéristiques géométriques de la conception de l'hélice ont été étudiées en premier lieu, puis le logiciel CFTurbo a été utilisé pour concevoir cette dernière en fonction des paramètres d'entrée tels que la différence de pression, la vitesse de rotation, etc. Ensuite, le fichier a été importé depuis le logiciel sous forme de fichier STEP dans le logiciel Ansys Fluent pour analyser les performances de l'hélice et observer son efficacité. Enfin, cette hélice axiale a été fabriquée en la modifiant à l'aide du logiciel SolidWorks, puis imprimée à l'aide d'une imprimante 3D et d'autres équipements pour concrétiser ce projet.

Summary

This study revolves around the design of an axial fan for air propulsion or absorption within an aerodynamic tunnel used for scientific experiments to measure aerodynamic phenomena, such as measuring flow characteristics on wings. The study initially focuses on the geometric properties for fan design. The software CFTurbo is then utilized to design the fan by inputting parameters such as pressure differential flow and rotational speed. The file is then imported into the ANSYS Fluent software in STEP format for analyzing the fan's performance and monitoring its efficiency. Finally, the axial fan is created by modifying it using SolidWorks software and printing it using a 3D printer and various devices to materialize this project.