

جامعة محمد خيضر بسكرة

كلية العلوم التكنولوجية

قسم الهندسة الميكانيكية



مذكرة ماستر

علوم و التكنولوجيا

هندسة الميكانيكية

طاقوية

المرجع:.....

من إعداد و تقديم:

بوراس عبد الحكيم

نوقشت يوم: 17 سبتمبر 2020

دراسة مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي

Studying the wastewater centrifugal pump

لجنة المناقشة:

د.جلون يوسف	أستاذ محاضر " أ "	جامعة محمد خيضر بسكرة	رئيس اللجنة
د.جودي طارق	أستاذ محاضر " أ "	جامعة محمد خيضر بسكرة	مُمتَحِن
د.علي و علي عبد الواحد	أستاذ محاضر " أ "	جامعة محمد خيضر بسكرة	مُشرِفًا

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الْحَمْدُ لِلَّهِ الْعَالَمِينَ وَالْحَمْدُ لِلَّهِ

مَا لَكَ يَوْمَ الدِّينِ أَيُّكَ عُبْدٌ وَإِنَّا لَنَسْتَعِينُ

أَهْدِنَا الصِّرَاطَ الْمُسْتَقِيمَ صِرَاطَ الَّذِينَ

أَنْعَمْتَ عَلَيْهِمْ غَيْرِ الْمَغْضُوبِ عَلَيْهِمْ

وَالضَّالِّينَ

شكر و تقدير

بسم الله الرحمن الرحيم، الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات و الصلاة و السلام على رسوله المصطفى و على آله و صحبه الكرام، أما بعد فالشكر و الحمد كله لله الذي بفضله و عونه و رحمته أتممنا هذا العمل و وفقنا لإتمام هذه الدراسة، فله الحمد و الشكر.

و عرفانا بالمساهمات التي قدمها لي المشرف على هذا العمل الأستاذ عبد الواحد، الذي قدم لي الكثير من التوجيهات و النصائح في ما يخص إطار البحث العلمي، فشكرا جزيلا، كما أتقدم بالامتنان و العرفان للأساتذة الكرام أعضاء لجنة المناقشة الموقرة على تفضلهم بمناقشة هذه المذكرة ليسهموا في تقييمها و خروجها إلي للعلن، فشكرا لكم.

كما لا يفوتني تقديم الشكر و التقدير لكافة الأساتذة الكرام في قسم الهندسة الميكانيكية، وكذا كل أفراد الإدارة في هذا القسم على التسهيلات في العمل الإداري و حسن الاستقبال و المعاملة، و كما أشكر كل من ساهمة في هذا العمل من أصدقاء و زملاء الدراسة فشكرا للجميع.

وأتقدم بالشكر الجزيل إلى والدي الكرام على كل ما قدماه إلي من الصغر إلى هذه اللحظة، ففضلهما عليّة كبير بعد الله تعالى، فشكرا جزيلا لها.

كما أشكر كل عمال محطة معالجة المياه بتقّرت التي استقبلوني و ساعدوني على إنجاز الجانب التطبيقي، و على وجه الخصوص خالي الغالي الإطار في المؤسسة، كل من ساهمة من قريب أو بعيد أو حتى بكلمة طيبة.

إلى كل هؤلاء أقول شكرا جزيلا.

إهداء

أهدي هذا العمل إلى الإنسان الذي علمني كيف يكون الصبر طريقا للنجاح، إلى من رباني و علمني و ساندني منذ الصغر، إلى رمز الصمود و المثابرة إلى والدي الغالي أطال الله في عمره.

إلى من رضاها غابتي و طموحي، إلى من سهرت و ربت و تعبت من أجلي و لأجلي، إلى من لها الفضل في وجودي بعد الله تعالى، إلى نبع الحنان و المودة و العطاء دون شكر و لا منن، إلى أغلى إنسان على هذا الكون أُمي الغالية حفظها الله ورعاها.

إلى أهلي بيتي، إخوتي وأخواتي، خالاتي و أخوالي، أعمامي و عماتي، إلى أصدقائي و زملائي و إلي كل من يحبني، وكل من قدم لي العون و المساهمة في إنجاز هذا العمل.

الفهرس

i.....	شكر و تقدير
ii.....	إهداء
iii.....	الفهرس
viii.....	المصطلحات
x.....	الاختصارات
xi.....	قائمة الأشكال
xv.....	قائمة الجداول
1.....	المقدمة العامة
الفصل الأول (I) : عموميات حول محطة معالجة مياه الصرف الصحي (تقرت)	
3.....	I-1-المقدمة
3.....	I-2-التعريف بمنطقة الدراسة
3.....	I-2-1- تقديم لمحة عن المحطة
3.....	I-2-2-الموقع الفلكي
3.....	I-2-3-الموقع الجغرافي
4.....	I-3-تصفية مياه الصرف الصحي بمدينة تقرت
5.....	I-4-مراحل معالجة (تصفية) المياه في المحطة
5.....	I-4-1-المعالجة الأولية
6.....	I-4-1-1-الغربلة
6.....	I-4-1-2-نزع الرمال
7.....	I-4-1-3-نزع الدهون
7.....	I-4-2-المعالجة الرئيسية
7.....	I-4-2-1-المعالجة البيولوجية
8.....	I-4-2-1-1-مرحلة التهوية
8.....	I-4-2-1-2-المضخة الحلزونية

9.....	2-2-4-I-المعالجة الكيميائية.
9.....	1-2-2-4-I-الكلورة.
10.....	2-2-2-4-I-التخزين.
10.....	3-2-2-4-I-معالجة الحمأة.
12.....	5-I-الخاتمة.

الفصل الثاني(II) :مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي

13.....	1-II-تمهيد
13.....	2-II-مضخة الطرد المركزي الخاصة (بمياه الصرف الصحي)
13.....	1-2-II-مبدأ عمل مضخة الطرد المركزي.
14.....	2-2-II-مكونات مضخة الطرد المركزي الخاصة.
15.....	1-2-2-II-المكونات التي تعمل هيدروليكيًا.
15.....	2-2-2-II-المكونات التي لها وظيفة ميكانيكية.
15.....	3-2-2-II-المكونات التي لها وظيفة منع التسرب.
15.....	3-2-II-أين يتم تثبيت المضخة داخل المحطة؟
16.....	3-II-النظريات الخاصة بمضخة الطرد المركزي.
16.....	1-3-II-مثلت السرعات.
17.....	2-3-II-معادلة أولر الخاصة بالمضخة (Euler's pump equation)
22.....	4-II-خصائص مضخة الطرد المركزي (Characteristic of the centrifugal pump)
23.....	1-4-II-منحنى الخصائص.
23.....	2-4-II-مردود مضخة الطرد المركزي.
24.....	3-4-II-منحنى NPSH
24.....	4-4-II-التكهف Cavitation
25.....	5-4-II-المصطلح $NPSH_{requis}$
26.....	6-4-II-المصطلح $NPSH_{disponible}$
27.....	5-II-الخصائص الإنشائية لمضخة الطرد المركزي (Construction characteristic)
27.....	1-5-II-الأنواع المختلفة للدافعة (impeller)
27.....	1-1-5-II-الدافعة المفتوحة (Open impeller)
28.....	2-1-5-II-الدافعة المصمتة أو المغلقة (Closed impeller)

28.....	3-1-5-II-الدافعة شبه مفتوحة (Semi-Open)
29.....	4-1-5-II-أنواع بعض الدوافع (impellers) الفرعية
30.....	2-5-II-الخصائص التصنيعية لمضخة الصرف الصحي

الفصل الثالث (III): النمذجة العددية Numerical modelling

32.....	1-III-تمهيد
32.....	2-III-عموميات حول ميكانيكا الموائع
32.....	1-2-III-تعريف المائع
32.....	2-2-III-البعد Dimension
33.....	3-2-III-الوحدة Unit
33.....	4-2-III-خواص الموائع (Properties of Fluids)
34.....	5-2-III-أنواع التدفق
34.....	3-III-الأشكال العامة للمعادلات الأساسية
35.....	1-3-III-معادلة حفظ الكتلة (معادلة الاستمرارية)
35.....	2-3-III-معادلات حفظ كمية الحركة
36.....	3-3-III-معادلة الاستمرارية في نظام الجريان الانسيابي (laminar)
36.....	4-3-III-معادلة نافي ستوكس في نظام الجريان الانسيابي (laminar)
37.....	4-III-معادلتى الاستمرارية و نافي ستوكس في النظام المضطرب (turbulent)
37.....	1-4-III-ملاحظات حول النظام المضطرب (turbulent)
37.....	2-4-III-مستويات المحاكاة لمعادلات (Navier-Stokes)
37.....	1-2-4-III-المحاكاة واسعة النطاق (Large Scale Simulation)
37.....	2-2-4-III-المحاكاة العددية المباشرة (Direct numerical simulation)
38.....	3-2-4-III-التقريب الإحصائي (Statistical approximation)
38.....	5-III-تحليل رقم رينولدز (Decomposition of Reynolds)
39.....	1-5-III-معادلة الاستمرارية المتوسطة
40.....	2-5-III-معادلات نافي ستوكس المتوسطة
40.....	3-5-III-نمط اللزوجة المضطربة
41.....	1-3-5-III-نموذج k- ω sst
41.....	2-3-5-III-نموذج k-Epsilon

43.....	6-III-حلول المعادلات (resolutions of the equations)
44.....	1-6-III-تقسيم و تقدير الحدود (Discretization) والشروط الحدية
45.....	2-1-6-III-التشبيك (Mesh sizes)
45.....	3-1-6-III-اختيار الشبكة (Choice of mesh grid)
46.....	3-1-6-III-الشروط الحدية (boundary conditions)
46.....	1-3-1-6-III-شروط الضغط عند المدخل (Inlet pressure conditions)
46.....	2-3-1-6-III-شروط السرعة عند المدخل (Inlet velocity conditions)
46.....	3-3-1-6-III-شروط تدفق الكتلة عند المدخل (Inlet mass flow conditions)
46.....	4-3-1-6-III-شروط الضغط عند المخرج (Outlet pressure conditions)
47.....	5-3-1-6-III-شروط السطوح الخارجية أو الجدار (Conditions of the walls)

الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة Results and discussions

48.....	1-VI-تمهيد
48.....	2-VI-التعريف ببرنامج المحاكاة (ANSYS)
50.....	3-VI-مراحل التصميم (stage of the design)
50.....	1-3-VI-الخطوة الأولى: Vista CPD (Centrifugal Pump Desing)
52.....	2-3-VI-الخطوة الثانية: استخدام (BladeGen)
53.....	3-3-VI-الخطوة الثالثة: Mesh size in TurboGrid
55.....	4-3-VI-الخطوة الرابعة: باستخدام Ansys CFX
55.....	1-4-3-VI-أولا (CFD-Pre)
56.....	2-4-3-VI-ثانيا (CFX-Solver)
56.....	3-4-3-VI-ثالثا (CFX-Post)
72.....	4-VI-الخاتمة
73.....	الخاتمة العامة

74.....	المراجع
	الملخص

المصطلحات

Nomenclature

الرموز	الدلالة العلمية	الوحدة
r_1	نصف قطر الدافعة(العجلة)الداخلي	m
r_2	نصف قطر الدافعة(العجلة)الخارجي	m
b	سمك الدافعة أو ارتفاع الشفرة	m
U	السرعة الخطية أو المماسية	m/s
W	السرعة النسبية	m/s
C	السرعة المطلقة	m/s
P	الضغط	Pa
C_{m1}	إسقاط السرعة المطلقة عند المدخل على المحور العمودي	m/s
C_{m2}	إسقاط السرعة المطلقة عند المخرج على المحور العمودي	m/s
C_{u1}	إسقاط السرعة المطلقة عند المدخل على محور السرعة المماسية	m/s
C_{u2}	اسقاط السرعة المطلقة عند المخرج على محور السرعة المماسية	m/s
α	الزاوية المحصورة بين شعاعي السرعة المطلقة و السرعة المماسية	Deg
β	الزاوية المحصورة بين شعاعي السرعة النسبية و السرعة المماسية	Deg
ρ	الكتلة الحجمية للسائل	Kg/m ³
T	عزم التدوير	N.m
ω	السرعة الزاوية	[rad/s]
Q_v	معدل التدفق الحجمي	m ³ /s
Q_m أو \dot{m}	معدل التدفق الكتلي	Kg/s
g	تسارع الجاذبية	m/s ²
H	ارتفاع أولر	m
η_g	الكفاءة أو المرودود الإجمالي للمضخة	%

%	الكفاءة أو المردود الميكانيكي للمضخة	η_{mec}
%	الكفاءة أو المردود الهيدروليكي للمضخة	η_{hyd}
%	الكفاءة أو المردود الحجمي للمضخة	η_{vol}
Wat	الطاقة المستردة أو المسترجعة بواسطة المضخة	p_u
Wat	الطاقة المستردة أو المسترجعة بواسطة السائل	p_a
m	صافي الضغط الموجب للسحب المطلوب المعطى من عند مصنع المضخة	$NPSH_{requis}$
m/s	مركبات السرعة على المعلم الديكارتي	u, v, w
m	صافي الضغط الموجب للسحب المطلوب المحسوب عند المدخل بعد تركيب أنابيب خط السحب	$NPSH_{disponible}$
m	ارتفاع أولر النظري	H_{th}
Wat	الطاقة الهيدروليكية	p_{hyd}
/	القيمة المتوسطة لرقم رينولدز	$\bar{\varphi}$
/	التقلب أو التغير حول القيمة المتوسطة لرقم رينولدز fluctuation	ϕ
Pa	قيود اللزوجة Viscous stress	τ_{ij}
Pa	معامل الشد أو الجهد المطبق tenseur de déformation	δ_{ij}
$kg.m^{-1}.s^{-1}$	اللزوجة الديناميكية المضطربة	μ_t
m^2/s^2	الطاقة الحركية المضطربة	k_t
/	الديكارتي منسقة في شكل مؤشر Cartesian cordons in index form	x_j
m^2/s^3	معدل تبديد الطاقة الحركية	ε
m/s	مركبات السرعة اللحظية المتوسطة	\bar{U}_j
m/s	مركبات السرعة اللحظية المتوسطة في النظام المضطرب	\bar{U}_{jq}

<p>Nombre adimensionnel</p> <p>Re</p> <p>رقم رينولدز</p>	$Re = \frac{\rho U D}{\mu} = \frac{U D}{\nu}$
---	---

الاختصارات:

CFD.....	Computational Fluid Dynamics
CFX.....	Computational Fluid Dynamics Xaverian
SS.....	Shear Stress Transport
NPS.....	Net Positive Suction Head
RANS.....	Reynolds Averaged Navier-Stokes
DNS.....	Direct Numerical Simulation
LES.....	Large Eddy Simulation
RSM.....	Reynolds Stress model
CPD.....	Centrifugal Pump Desing
1D.....	Unidimensionnelle
3D.....	tridimensionnelle

قائمة الأشكال

List of Figures

الفصل الأول (I) : عموميات حول محطة معالجة مياه الصرف الصحي (تقرت)

- الشكل (I-1) موضع محطة التطهير بالقمر الصناعي_ تقرت_.....4
- الشكل (I-2) مدخل المحطة.....4
- الشكل (I-3) أنابيب تجميع مياه الصرف الصحي.....5
- الشكل (I-4) مخطط سير المحطة.....5
- الشكل (I-5) آلة الغربلة.....6
- الشكل (I-6) مكان رمي النفايات.....6
- الشكل (I-7) حوض الترسيب.....7
- الشكل (I-8) أحواض نزع الدهون.....7
- الشكل (I-9) أحواض التهوية.....8
- الشكل (I-10) مضخة حلزونية.....8
- الشكل (I-11) قنوات خروج الماء الصافي.....9
- الشكل (I-12) قنوات خروج الماء الصافي.....9
- الشكل (I-13) قنوات خروج الماء الصافي.....9
- الشكل (I-14) أحواض الكلورة.....10
- الشكل (I-15) المقبرة.....10
- الشكل (I-16) أحواض التجفيف.....11
- الشكل (I-17) أحواض التجفيف.....11

الفصل الثاني (II) : مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي

- الشكل (II-1) مسار السائل عبر مضخة الطرد المركزي.....14
- الشكل (II-2) المكونات الأساسية لمضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي.....14
- الشكل (II-3) تركيب المضخة داخل الخزان.....15
- الشكل (II-4) مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي من داخل المحطة.....16
- الشكل (II-5) مثلث السرعة لدافعة (impeller) مضخة الطرد المركزي.....16

18.....	الشكل(II-6) الحجم التحكمي على الدافعة.....
20.....	الشكل(II-7) مثلث السرعة عند مدخل الدافعة.....
20.....	الشكل(II-8) مقطع طولي لدافعة مضخة.....
21.....	الشكل(II-9) مثلث السرعة عند مخرج المضخة.....
22.....	الشكل(II-10)منحنى الخصائص النظرية لمضخة الطرد المركزي.....
22.....	الشكل(II-11)أشكال الشفرات حسب زاوية المدخل.....
23.....	الشكل(II-12)المنحنى النظري لكفاءة و ارتفاع مضخة الطرد المركزي الخاصة.....
24.....	الشكل(II-13)صورة لتكهف على دافعة مضخة.....
25.....	الشكل(II-14)تأثير التكهف على مضخات الطرد المركزي.....
26.....	الشكل(II-15)مثلث السرعات عند المدخل.....
26.....	الشكل(II-16) انخفاض ب%3 من ارتفاع مقياس الضغط.....
28.....	الشكل(II-17) الدافعة المفتوحة.....
28.....	الشكل(II-18) الدافعة المغلقة.....
29.....	الشكل(II-19) الدافعة الشبه مفتوحة.....
29.....	الشكل(II-20)دافعة على شكل دوامة Vortex.....
29.....	الشكل(II-21) دافعة غير مسدودة Non-Clog.....

الفصل الثالث(III): النمذجة العددية Numerical modelling

39.....	الشكل(III-1)مبدأ تحليل رينولدز.....
44.....	الشكل(III-2)التصميم الهندسي التقديري.....
44.....	الشكل(III-3)التصميم الهندسي الأصلي.....
45.....	الشكل(III-4)الشبكة أو التشبيك بـ" TurboGrid".....

الفصل الرابع(VI): النتائج و المناقشة Results and discussions

50.....	الشكل(VI-1) مخطط لمراحل انجاز العمل.....
51.....	الشكل(VI-2) التصميم الأولي أحادي البعد.....

- الشكل (3-VI) المعطيات الأولية على Vista CPD 51
- الشكل (4-VI) التصميم ثلاثي الأبعاد على BladeGen 53
- الشكل (5-VI) Meridional Surface 53
- الشكل (6-VI) المجال المعلوماتي المعطى لـ TurboGrid 53
- الشكل (7-VI) دافعة المضخة بعد عملية التشبيك Meshing 54
- الشكل (8-VI) الشروط الحدية عند المدخل و المخرج 56
- الشكل (9-VI) منظر أمامي من مقطع عرضي لدافعة مضخة 57
- الشكل (10-VI) مختلف الأبعاد لشفرة دافعة 57
- الشكل (11-VI) محيط الضغط على طول الشفرة المأخوذ عند 20% من ارتفاعها 58
- الشكل (12-VI) محيط الضغط على طول الشفرة المأخوذ عند 50% من ارتفاعها 59
- الشكل (13-VI) محيط الضغط على طول الشفرة المأخوذ عند 80% من ارتفاعها 59
- الشكل (14-VI) التغير في الضغط الكلي و الثابت على طول الشفرة 61
- الشكل (15-VI) التغير في السرعة المطلقة C على طول الشفرة 62
- الشكل (16-VI) التغير في السرعة النسبية W على طول الشفرة 62
- الشكل (17-VI) النموذج الهندسي المتحصل عليه من عملية النمذجة 63
- الشكل (18-VI) تيارات سرعة المائع داخل الدافعة 63
- الشكل (19-VI) حقول السرعة النسبية على السطح السفلي للشفرة 63
- الشكل (20-VI) حقول السرعة النسبية على meridian 63
- الشكل (21-VI) حقول السرعة النسبية على الحافة الأمامية 65
- الشكل (22-VI) حقول السرعة النسبية على الحافة الخلفية 65
- الشكل (23-VI) حقول الضغط الاجمالي على meridian 65
- الشكل (24-VI) حقول السرعة النسبية على السطح السفلي للشفرة 65
- الشكل (25-VI) حقول الضغط الاجمالي على الحافة الأمامية 66
- الشكل (26-VI) حقول الضغط الاجمالي على الحافة الخلفية 66

- الشكل (27-VI) حقول الضغط الثابت static pressure على مستوى شفرات الدافعة.....66
- الشكل (28-VI) تيارات السرعة المطلقة على 80% من ارتفاع الشفرة.....67
- الشكل (29-VI) منحنى كفاءة المضخة و التغير في الارتفاع بدلالة معدل تدفق الكتلة.....70

قائمة الجداول

List of Tables

- الجدول (1-II) البطاقة التقنية للمضخة الخاصة بمياه الصرف الصحي.....30
- الجدول (2-II) التعامل مع المواد الصلبة داخل المضخة.....31
- الجدول (1-VI) المعلومات الأولية لتصميم المضخة.....51
- الجدول (2-VI) المعطيات عند المدخل.....52
- الجدول (3-VI) المعطيات عند المخرج.....52
- الجدول (4-VI) بيانات الشبكة.....54
- الجدول (5-VI) الشروط المادية للتشغيل.....55
- الجدول (6-VI) الشروط الحديدية.....55
- الجدول (7-VI) ملخص بيانات المنحنيات.....60
- الجدول (8-VI) أداء مضخة الطرد المركزي.....68
- الجدول (9-VI) النتائج المتحصل عليها من CFD-Post.....69

مقدمة عامة

General introduction

المقدمة العامة

المقدمة العامة:

إن تطور العلم يجعل الحياة أسهل بالنسبة لنا جميع مجالات التكنولوجيا، وعلى وجه الخصوص في ديناميكيات السوائل مثل قطاع النقل (الطائرات، والقوارب، والسيارات، وما إلى ذلك) وإنتاج الطاقة (التوربينات، والضواغط، والمفاعلات، وما إلى ذلك)، ويرجع هذا النجاح إلى حد كبير إلى التبادلات الوثيقة بين الخبرة النظرية وتجربة ديناميكيات السوائل، فمن ناحية أخرى لا غنى عن التجارب للتحقق من الفرضيات والنتائج التي تنشأ عن النظريات، ومن ناحية أخرى كذلك، فإن النظرية ضرورية لشرح النتائج التي يتم الحصول عليها من التجربة، ولتسهيل العمل في المستقبل، وقد وُلدت محاكاة عددية للقيام بذلك.

وقد نمت المحاكاة الرقمية بدرجة كبيرة منذ تطوير الحواسيب، واليوم يتم تصميم معظم النظم المعقدة بمساعدة عملية النمذجة، ولذلك فإن الحاجة إلى تطوير برامج محاكاة قوية وفعالة أمر ضروري، بحيث تتيح عملية المحاكاة الرقمية إمكانية التنبؤ بسلوك المعلومات المادية اللازمة لتطوير الأنظمة وتحسينها، كما أنها تقلل من وقت التصميم وتكاليف التجارب.

وتحتل محاكاة التدفقات مكانا هاما في عالم عملية النمذجة وهذا هو السبب في بذل جهد كبير في البحث عن طرق رقمية لحل معادلات النقل التي تحكم التدفقات، وقد سمح ذلك بالحل العددي للمعادلات ثلاثية الأبعاد وهي معادلات التدفق للسائل داخل الأجهزة الدوارة (توربوماشيني) بما فيها المضخات، مع مراعاة أثر اللزوجة والاضطراب للمائع، وقد جعل هذا التقدم من ديناميكيات السوائل (Computational Fluids Dynamics) أداة ذات أهمية كبيرة لتطوير وتحسين أبعاد و أداء المضخات.

في الفصل الأول سنقوم بتقديم المؤسسة التي احتضنت عملنا هذا، بكونها تتوفر على هذا النوع من المضخات الخاصة، بحيث سنعرف المؤسسة ومختلف مركباتها المادية والبشرية وحتى موقعها وما إلى ذلك، كما سنتطرق إلى مختلف العمليات التي تمر بها معالجة مياه الصرف الصحي، وأما في الفصل الثاني سنقوم بوصف المضخة الخاصة بمياه الصرف الصحي وعرض جميع مكوناتها، مع ذكر مبدأ عمل مضخات الطرد المركزي والنظريات الأساسية الخاصة بها، والتي بفضلها سنتمكن من فهم الجزء النظري للتدفقات الحاصلة داخل المضخة.

أما الفصل الثالث، فهو مخصص بشكل كلي للمعادلات التي تحكم و تصف هذه التدفقات وهي: معادلة الاستمرارية ومعادلات نافي ستوكس (Navier-Stokes)، الممثلة في النظامين للتدفق، وكذا طرق حل هذه المعادلات والنتائج العددية القائمة أساسا على طريقة الأحجام المنتهية (finite volume)، وفي

المقدمة العامة

دراستنا هذه سيكون التدفق مضطربا مما يستلزم علنا استخدام النمط K- ω SST (Shear Stress Transport) في هذا الجزء الاضطرابات.

و في الأخير، و في الفصل الرابع سنقوم بتجسيد المحاكاة على البرنامج المحاكائي (Ansys)، بحيث ينتج لنا تصميم ثلاثي الأبعاد بعد إدخال المعلومات الخاصة بالمضخة في المحاكائي، بما فيها طبيعة السائل اللزجة و الاضطراب داخل الدافعة، و بإتباع خطوات النمذجة سنحصل على النتائج التي تعكس توزيع حقول السرعة وتوزيع الضغط في مواقع مختلفة من نموذجنا الهندسي، وكذا المنحنى الخاص بالارتفاع و الخاص بأداء المضخة بالنسبة لمعدل التدفق الكتلي.

الفصل الأول

(I)

عموميات حول محطة
معالجة مياه الصرف الصحي
(تقرت)

الفصل الأول (I) :عموميات حول محطة معالجة مياه الصرف الصحي (تقرت)

I-1-المقدمة:

الماء هو أحد الموارد الطبيعية المتجددة على كوكب الأرض، وأهم ما يميزه كمركب كيميائي هو ثباته فالكميات الموجودة منه على سطح وباطن كوكب الأرض هي نفسها منذ مئات السنين بالنسب (73 %ماء و 27 % يابسة.)

يعاني أغلب دول العالم من ندرة المياه و يرجع ذلك إلى الاستعمال اللاعقلاني له و الإفراط في استغلاله و كذلك لوقوع بعض الدول في المناطق الجافة و الشبه جافة من الكرة الأرضية، ومع نمو السكان في هذه المناطق فأن مشكلة الندرة تتفاقم كنتيجة منطقية لتزايد الطلب على المياه لتلبية الاحتياجات المنزلية و الزراعية.

مما استوجب على الدول استحداث طريقة للمحافظة على المياه وذلك من خلال إنشاء محطات لمعالجة و تطهير المياه المستعملة و إعادة استخدامها ،من بينها محطة معالجة المياه المستعملة بتقرت.

I-2-التعريف بمنطقة الدراسة:

I-2-1- تقديم لمحة عن المحطة:

تمهيد:

قبل البدء في أي دراسة يجب تحديد مكان الدراسة بهدف تحديد العوامل التي تؤثر فيها و ضبط الشروط التجريبية للعمل، حيث قمنا بالدراسة في محطة التصفية لمنطقة تقرت الكبرى.

I-2-2-الموقع الفلكي:

' 16 شمالا ° تقع على : خط عرض 33 -

6 شرقا ° خط طول 14 -

I-2-3-الموقع الجغرافي:

في الشمال الشرقي لولاية ورقلة،تقع محطة تصفية المياه المستعملة بتقرت(بني أسود) التابعة لبلدية تبسبست دائرة تقرت على الطريق الوطني رقم 16 بين مدينة تقرت و مدينة الوادي،تتربع هذه المحطة على مساحة 5 هكتارات بدأت تعمل في 21/11/1993،توقفت عن العمل سنة 1995 م و أعيد تأهيلها في سنة 2013 م ، وبدأت العمل من جديد في 24/12/2014 تحت إشراف الديوان الوطني للتطهير ONA ،و حاليا مخصصة لتنقية جزء من المياه المستعملة لمدينة تقرت الكبرى.

الفصل الأول (I) : عموميات حول محطة معالجة مياه الصرف الصحي (تقرت)



الشكل (I-1) : موضع محطة التطهير بالقمر الصناعي_ تقرت_

I-3- تصفية مياه الصرف الصحي بمدينة تقرت:



● الاسم الكامل : محطة التصفية و التطهير.

● سنة الافتتاح : ابريل 2114

● المساحة : 2600 m²

● كمية المياه المستقبلية يوميا : 9361 m³

الشكل (I-2) : مدخل المحطة

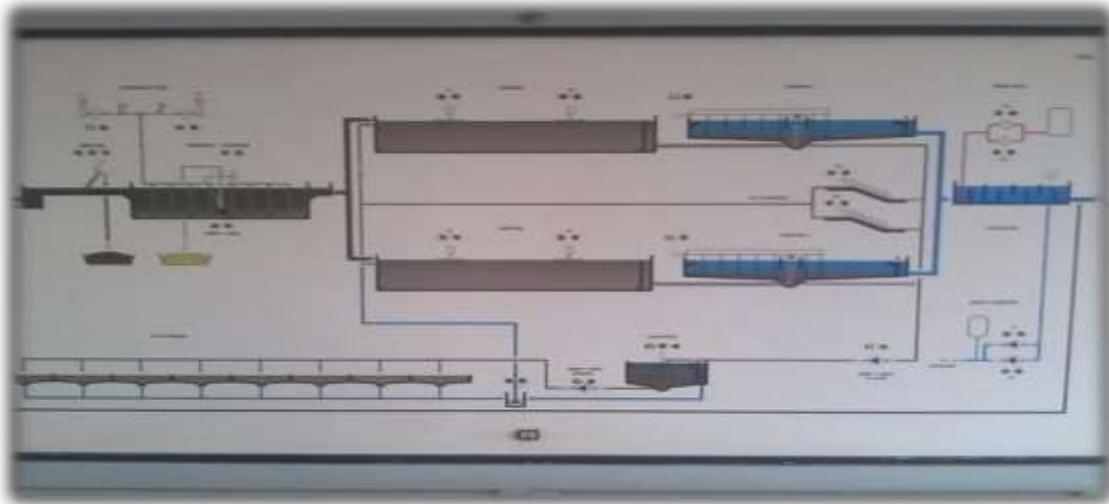
يتم استقبال هذه المياه من مختلف أنحاء المنطقة وتمر عبر أنابيب ثم تجمع داخل محطة كبيرة [1].

الفصل الأول (I) : عموميات حول محطة معالجة مياه الصرف الصحي (تقرت)



الشكل: (I-3) أنابيب تجميع مياه الصرف الصحي

وهذه المحطة تسيير وفق المخطط التالي:



الشكل: (I-4) مخطط سير المحطة

I-4-1 مراحل معالجة (تصفية) المياه في المحطة:

تتعدد مصادر المياه الواردة إلى المحطة قصد المعالجة بتعدد الأنشطة البشرية المحلية، حيث تمر بمراحل تتمثل فيما يلي:

I-4-1-1 المعالجة الأولية:

في هذه المرحلة يتم نزع المواد الصلبة الكبيرة.

الفصل الأول (I) : عموميات حول محطة معالجة مياه الصرف الصحي (تقرت)

I-1-4-1-1-الغريلة: (Screening and comminution) يتم فيها نزع المواد و الشوائب الصلبة (معادن

الحصى _أحجار) ... بواسطة آلة خاصة و تجمع ثم ترمى في سلة المهملات.

أبعاد الآلة:

● العرض: 811 مم.

● الارتفاع: 411 مم.

● المساحة المبللة: 1.32 مم.

● سمك الشبكة: 41 مم.



الشكل(I-5): آلة الغريلة



*جمع المواد الصلبة و رميها في سلة المهملات.

الشكل (I-6): مكان رمي النفايات

I-1-4-2-نزع الرمال : (Grit chamber) تتم بواسطة حوض

الترسيب بحيث يتم ترسيب الرمل (يكون الرمل في الأسفل).

أبعاد الحوض:

الفصل الأول (I) : عموميات حول محطة معالجة مياه الصرف الصحي (تقرت)



الطول: 15 م.

العرض: 2 م.

الشكل (I-7): حوض الترسيب

ارتفاع الماء الأعظمي : 2,65 م.

سرعة جريان الماء : 2 سم/ثانية.

وتتم في حوضين: أحدهما مستغل والثاني في وضع الاحتياط يستغل في حال تنظيف الحوض الأول.

I-4-1-3-نزع الدهون (Disagrelation) تتم بواسطة آلة خاصة بحيث تطفو الشحوم على سطح الماء

و يتم رميها في حوض بجانبها.

أبعاد الحوض :

•الطول : 15 متر.

•العرض : 1,1 متر.

•ارتفاع الماء الأقصى 2 : 65 متر.



الشكل (I-8): أحواض نزع الدهون

I-4-2-المعالجة الرئيسية:

I-4-2-1-المعالجة البيولوجية:

تحتوي على 4 أحواض سعة الحوض الواحد هو 7211 متر مكعب.

الفصل الأول (I) : عموميات حول محطة معالجة مياه الصرف الصحي (تقرت)

I-4-2-1-1-1-مرحلة التهوية (Aeration):

وتتم بتوفير الأوكسجين للبكتيريا الهوائية لتقوم بعملية تحليل المواد العضوية.

في حوض التهوية توجد العديد من البكتيريا بكميات كبيرة يتم فيها توفير الأوكسجين (من 1.5 إلى 3 غ/ل) لها باستخدام les aérateurs تعمل 21 دقيقة فتنشط البكتيريا حيث تقضي على المواد العضوية وتنقص رائحة العفن للماء.



مثل الحوض (02):

• الطول : 14 متر.

• العرض : 12 متر.

• الحجم : 7,211 متر مكعب

الشكل (I-9) : أحواض التهوية

I-4-2-1-2-2-المضخة الحلزونية:

أما عندما تتوقف المضخة 20 دقيقة يتم فيها موت البكتيريا و في هذه الحالة نأخذ كمية من الماء الموجود في الحوض 2 ونضعه في مضخة حلزونية الشكل ليتم فيها تنشيط البكتيريا الميتة و إعادتها للأحواض للقضاء على المواد العضوية المتبقية ثم تموت و تترسب في الحوض.



• الطول : 3,23 متر .

• السرعة : 51 : دورة / دقيقة.

• القطر : 1,85 متر.

الشكل (I-10) : مضخة حلزونية

الفصل الأول (I) : عموميات حول محطة معالجة مياه الصرف الصحي (تقرت)

I-2-2-4-المعالجة الكيميائية:

يتم في هذه المرحلة تعقيم الماء وذلك بإضافة مادة الكلور من أجل القضاء على الكائنات الدقيقة المتبقية في الماء. يوجد في هذه المرحلة حوضين على شكل اسطوانة بحيث يتم فيهما:
فصل الماء عن الحمأة و تكون بواسطة جهاز دوراني يسمى بجهاز ثانوي للدوران (Secondeaire Décanteur)
الحوض الاسطواني رقم:2



- مساحته : 452 متر مربع.
- حجمه : 1175 متر مكعب .
- قطره : 24 متر.

الشكل(I-11): قنوات خروج الماء الصافي

يمر الماء الصافي عبر قنوات محيطية بالحوض سعته 1175 متر مكعب ثم مباشرة إلى أحواض التطهير و تسمى الكلورة.



الشكل(I-13): قنوات خروج الماء الصافي



الشكل(I-12): قنوات خروج الماء الصافي

I-2-2-4-1-الكلورة(Chorine):

مرحلة الكلورة تكون في حوض شكله لولبي بحيث يتم فيها تطهير الماء وذلك بزيادة الكلور لقتل المواد الحيوية المتبقية فيها كالفيروسات . و دور الحوض اللولبي التقليل من سرعة الماء.

الفصل الأول (I) : عموميات حول محطة معالجة مياه الصرف الصحي (تقرت)



• الطول : 15 متر .

• العرض : 16 متر.

• الحجم : 311,4 متر مكعب

قد تصل التنقية الجيدة للماء بنسبة 81 بالمائة تقريبا.

الشكل(I-14) : أحواض الكلورة

I-4-2-2-2-التخزين:

و يتم فيها جمع و تخزين المياه المصفاة.

• سرعة الدوران : 451 دورة\ الدقيقة .

• الطول : 18 متر.

• المساحة : 51 متر مربع.

• الحجم : 218 متر مكعب.

• ارتفاع الخزان : 4,3 متر.

• ارتفاع الماء داخل الخزان : 4 متر.

• التركيز: من 4 % إلى 6 %

• مدة التخزين : 33 يوم



الشكل(I-15):المقبرة

I-4-2-2-3-معالجة الحمأة:

يتم معالجة الحمأة بالتخمير اللاهوائي.

يستعمل التخمير اللاهوائي(Anaerobic Digester) لمعالجة الحمأة النشطة المتبقية في مخمرات كبيرة (Digester) بحيث تحول البكتريا المادة العضوية منتجة غازات H₂ ، N₂ وخاصة CO₂ و CH₄ وهذه الأخيرة تستعمل كمصدر للطاقة.

تتغذى المخمرات بأو حال حديثة و جزء من الأو حال ناتجة من تخمر في شروط مثالية من درجة الحرارة و درجة الحموضة، عند تجميعها كليا يتم وضعها في أحواض التجفيف وذلك بالاعتماد على أشعة الشمس الصادرة بحيث يستغرق فترة طويلة حتى الجفاف.

الفصل الأول (I) : عموميات حول محطة معالجة مياه الصرف الصحي (تقرت)



- الطول : 25 متر.
- العرض : 8 متر .
- المساحة : 211 متر مربع.
- الارتفاع : 1.4 متر.

الشكل(I-16): أحواض التجفيف

* يمكن استغلال هذه الحمأة المجففة على شكل أسمدة كيميائية صالحة للزراعة.
* يمكن للعناصر الغذائية الموجودة في المياه الصرف الصحي أن تنحل كلياً أو جزئياً مكان الأسمدة الكيميائية.



الشكل(I-17): أحواض التجفيف

الفصل الأول (I) :عموميات حول محطة معالجة مياه الصرف الصحي (تقرت)

I-5-الخاتمة:

بعد القيام بجميع هذه الخطوات للحصول على مياه نقية نسبيا إلا أن استعماله تبقى محدودة جدا، نظرا لعد جودته الكافية و التي تمكن الإنسان باستعماله في حياته اليومية، فمعظم المياه توجه للزراعة و للمناطق الصناعية في المنطقة حيث تستخدم للتبريد و للصناعة، إلا أن الهدف الأسمى هو الحفاظ على البيئة وذلك بعدم رمي مياه الصرف الصحي بما تحتويه من ملوثات عضوية و كيميائية في الطبيعة.

الفصل الثاني

(II)

مضخة الطرد المركزي
الخاصة بمياه الصرف
الصحي

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي

II-1-تمهيد :

تستقبل محطة التصفية و التطهير كميات كبيرة من المياه المستعملة يوميًا، وذلك من خلال شبكة الصرف الصحي الخاصة بالمنطقة العمرانية تقترت الكبرى ، ليتم معالجة وإعادة استغلالها سواء في الحاجيات اليومية للمواطن أو في المجال الزراعي و الصناعي.

عند وصول مياه الصرف الصحي المحطة يتم نزع الشوائب الصلبة الكبيرة منها ، وبعدها يتم استعمال مضخة الطرد المركزي العمودية الخاصة بمياه الصرف الصحي لرفع المياه إلى أحواض المعالجة .

II-2-مضخة الطرد المركزي الخاصة (بمياه الصرف الصحي) :

المضخة الخاصة هي مضخة من عائلة مضخات الطرد المركزي الأكثر شيوعا حيث تمتاز بالقدرة العالية من حيث معدل التدفق وكذلك القدرة العالية على رفع سوائل مختلفة اللزوجة و الكثافة ، بالإضافة إلى الغطاء المانع لوصول المياه إلى محرك المضخة الذي يجعلها مميزة عن بقية مضخات الطرد المركزي ويكسبها خاصية المضخة الغاطسة .

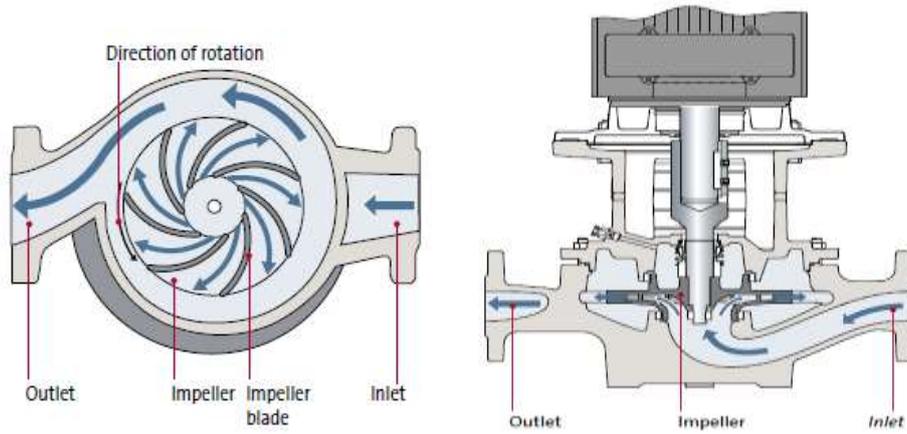
II-2-1-مبدأ عمل مضخة الطرد المركزي:

تنشأ زيادة في ضغط السائل من مدخل المضخة إلى مخرجه عندما تكون المضخة قيد التشغيل ، و يؤدي هذا الاختلاف في الضغط إلى دفع السائل عبر النظام أو المصنع .

تعمل مضخة الطرد المركزي على زيادة الضغط عن طريق نقل الطاقة الميكانيكية من المحرك إلى السائل عبر الدافعة (impeller)، يتدفق السائل من المدخل إلى مركز الدافعة (Eye) وإلى الخارج على طول الشفرات، تزيد قوة الطرد المركزي من سرعة السائل وبالتالي تتحول الطاقة الحركية إلى ضغط.

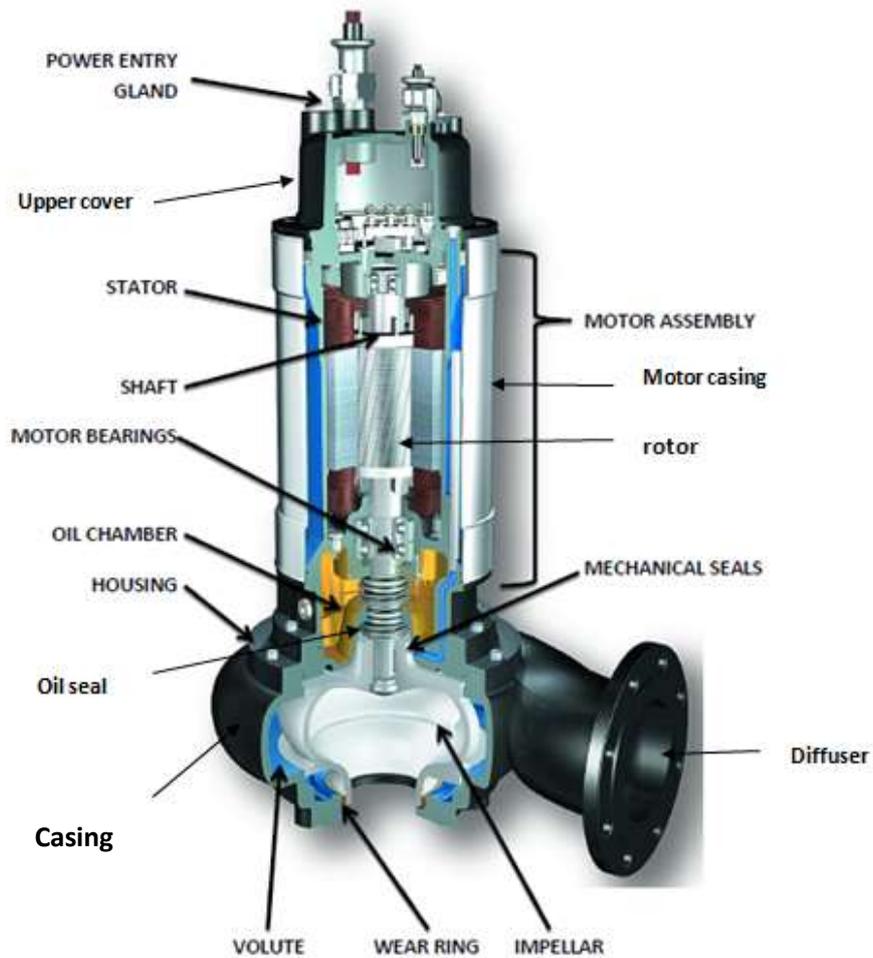
يوضح الشكل المقابل مثالا لمسار السائل عبر مضخة الطرد المركزي.[2]

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي



الشكل (1-II): مسار السائل عبر مضخة الطرد المركزي

2-2-II مكونات مضخة الطرد المركزي الخاصة:



الشكل (2-II): المكونات الأساسية لمضخة الطرد المركزي الخاصة

بمياه الصرف الصحي

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي

II-2-2-1-المكونات التي تعمل هيدروليكيًا:

✓ الدافعة Impeller

✓ الفولوت Volute

✓ ناشر Diffuser

II-2-2-2-المكونات التي لها وظيفة ميكانيكية:

✓ العمود Shaft

✓ المحامل Motor bearings

✓ التوصيل Coupling

II-2-2-3-المكونات التي لها وظيفة منع التسرب:

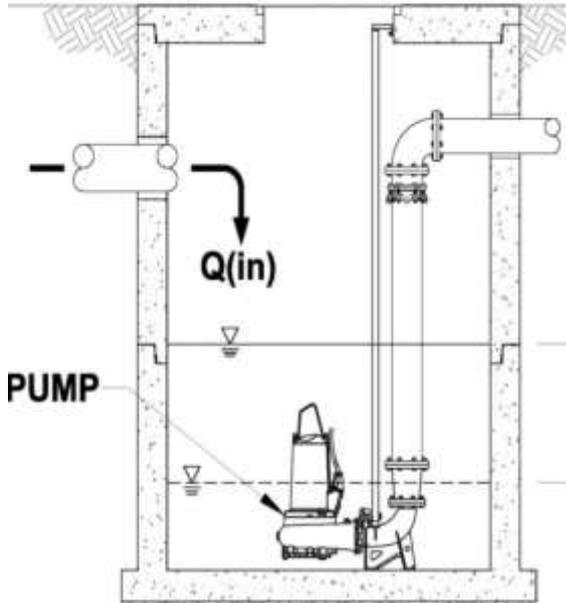
✓ الوصلة أو الختم Seal

✓ مجموعة حشيات مثل Oil seal

✓ قاعدة الكابل Cable base

✓ غطاء المحرك Motor casing

II-2-2-3-أين يتم تثبيت المضخة داخل المحطة ؟ :



تثبت مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي في محطة المعالجة داخل خزان أرضي على عمق أربعة أمتار على الأقل،

هذا الخزان الذي يتجمع فيه المياه الصرف الصحي القادم مختلف شبكات الصرف الصحي في المنطقة.

يتم ربط المضخة بأنابيب لرفع و ضخ المياه داخل المحطة وتكون متصلة بأنابيب التجميع المذكورة في الفصل الأول.

الشكل (II-3): تركيب المضخة داخل الخزان.

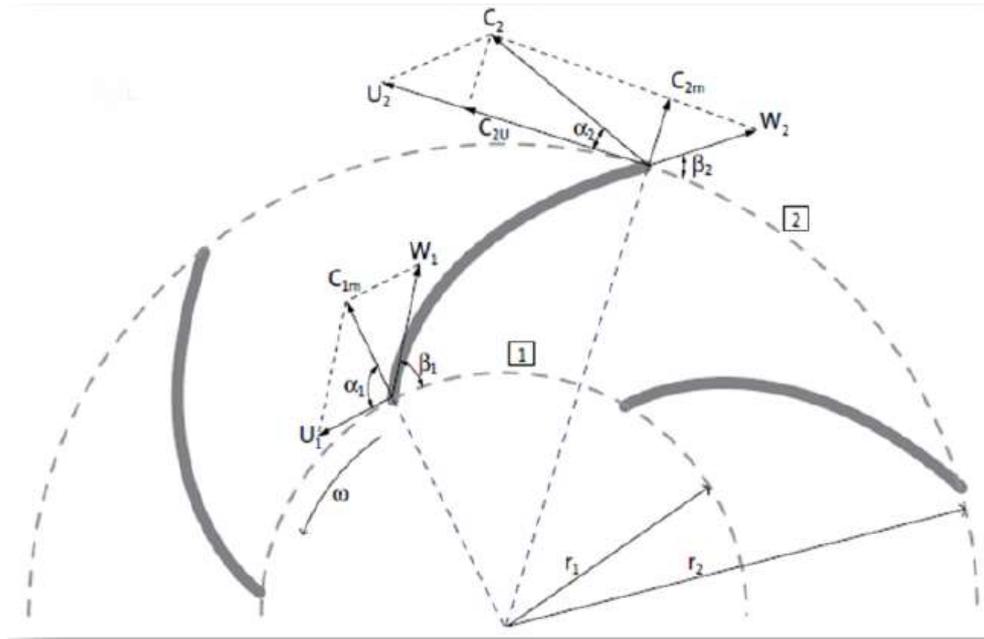
الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي



الشكل (II-4): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي من داخل المحطة.

II-3-النظريات الخاصة بمضخة الطرد المركزي:

II-3-1-مثلث السرعات:



الشكل (II-5): مثلث السرعة لدافعة (impeller) مضخة الطرد المركزي

بالنسبة للسائل الذي يتدفق عبر الدافعة يمكن تحديد سرعته المطلق (C) كمجموع السرعة النسبية (W) بالنسبة للدافعة و السرعة التماسية الخاصة بالدافعة (U) وكل حسب اتجاه المتجهة.

تتم إضافتها من خلال جمع المتجهات، مما يشكل مثلثات السرعة المتجهة داخل وعند مخرج الدافعة، تكون السرعة النسبية و السرعة المطلقة نفسها في الجزء الثابت من المضخة.

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي

يمكن وصف التدفق في الدافعة بواسطة مثلثات السرعة التي تصف و تبين اتجاه التدفق و حجمه، بحيث يكون التدفق ثلاثي الأبعاد، ونحصل على العلاقة التالية: [3]

$$\vec{C} = \vec{U} + \vec{W} \quad (\text{II.1})$$

بحيث:

\vec{C} : السرعة المطلقة للجسيمات السائلة .

\vec{W} : السرعة النسبية للمائع المتعلقة بالدافعة.

\vec{U} : السرعة الخطية أو المماسية المرتبطة بتدوير شفرات الدافعة.

\vec{C}_{m1} و \vec{C}_{m2} : هي الاسقاطات الشعاعية لمتجهات السرعة المطلقة عند المخرج و المدخل على التوالي.

\vec{C}_{u1} و \vec{C}_{u2} : هي الاسقاطات الشعاعية لمتجهات السرعة المماسية عند مدخل و مخرج الدافعة.

الزاويتان α_1 و α_2 المتكونتان على التوالي بواسطة الشعاعين $(\vec{U}_1$ و $\vec{C}_{m1})$ و $(\vec{U}_2$ و $\vec{C}_2)$ ، وتسمى بزوايا السرعة المطلقة عند المدخل و للمخرج، بينما الزاويتان β_1 و β_2 الناتجتان من تقاطع الشعاعين $(\vec{U}_1$ و $\vec{W}_1)$ و $(\vec{U}_2$ و $\vec{W}_2)$ و هي زوايا السرعات النسبية داخل و خارج الدافعة، وتسمى بزوايا شفرات الدافعة [4].

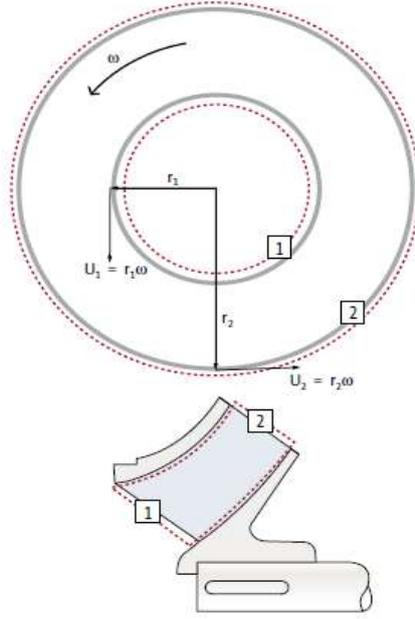
II-3-2- معادلة أولر الخاصة بالمضخة (Euler's pump equation) :

إن معادلة أولر للمضخة هي المعادلة الأكثر أهمية فيما يتعلق بتصميم المضخات ، حيث يمكن اشتقاق هذه المعادلة بعدة طرق مختلفة ، تتضمن حجم التحكم أو ما يسمى بالحجم المدروس (control volume) من الدافعة و لحظة معادلة الزخم التي تصف قوى التدفق بالإضافة إلى مثلثات السرعة عند المدخل و المخرج .

حجم التحكم هو حيز موهمي تخيلي محدود يستخدم لحصر و تسهيل الدراسة و لإعداد معادلات الاتزان يمكن إعداد معادلات الاتزان بقيم الزخم و كميات التدفق.

المعادلة اللحظية للزخم وهي إحدى معادلات الاتزان حيث تربط بين تدفق الكتلة و السرعات على أقطار الدافعة، الحجم المدروس بين 1 و 2 كم هو موضح في الشكل غالباً ما يكون على الدافعة (impeller).

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي



الشكل (II-6): الحجم التحكمي على الدافعة.

الاتزان الذي يهمننا هو توازن العزم ، عزم الدوران (T) الناتج عن عمود الإدارة (shaft) يتوافق مع العزم الصادر من السائل المتدفق عبر الدافعة مع التدفق الكتلي $\dot{m} = \rho Q_m$:

$$T = m. (r_2 \cdot C_{u2} - r_1 \cdot C_{u1}) \quad [Nm] \quad (II.2)$$

عن طريق ضرب العزم في السرعة الزاوية الشعاعية نحصل على عبارة القوة التي يطبقها العمود (P₂)، وفي نفس الوقت نضرب نصف القطر في السرعة الزاوية بحيث $r^2 \omega = U_2$ ، وينتج عن ذلك:

$$P^2 = T \cdot \omega \quad (II.3)$$

$$= \dot{m} \cdot \omega \cdot (r^2 \cdot C_{u2} - r^1 \cdot C_{u1})$$

$$= \dot{m} \cdot (\omega r^2 \cdot C_{u2} - \omega r^1 \cdot C_{u1})$$

$$= \dot{m} \cdot (U^2 \cdot C_{u2} - U^1 \cdot C_{u1})$$

$$= \rho Q_m \cdot (U_2 \cdot C_{u2} - U_1 \cdot C_{u1})$$

وفقا لمعادلة الطاقة تتم إضافة الطاقة الهيدروليكية إلى السائل، ويمكن كتابته في شكل تغير في الضغط ΔP_{tot} ، بحيث يتناسب طرديا مع قيمة التدفق Q_m :

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي

$$P_{hyd} = \Delta P_{tot} \cdot Q_m \quad [W] \quad (II.4)$$

يعرف الارتفاع بالعلاقة التالية:

$$H = \frac{\Delta P_{tot}}{\rho \cdot g} \quad [m] \quad (II.5)$$

وبالتالي يمكننا كتابة عبارة الطاقة الهيدروليكية بالعلاقة التالية:

$$P_{hyd} = Q_m \cdot H \cdot \rho \cdot g = \dot{m} \cdot H \cdot g \quad [W] \quad (II.6)$$

إذا فرضنا أن التدفق خالي من الفقدان في الطاقة الميكانيكية والهيدروليكية ، فإن عبارة الارتفاع تكون:

$$P_{hyd} = P^2$$

$$\dot{m} \cdot H \cdot g = \dot{m} \cdot (U_2 \cdot C_{u2} - U_1 \cdot C_{u1}) \cdot \quad (II.7)$$

$$H = \frac{(U_2 \cdot C_{u2} - U_1 \cdot C_{u1})}{g}$$

و هذه هي المعادلة المعروفة بمعادلة أولر، وهي تعبر عن ارتفاع الدافعة بالسرعات المماسية و المطلقة عند المدخل و المخرج ، إذا تم تطبيق العلاقة بين جيب التمام على مثلثات السرعة ، فإن مضخة أولر يمكن كتابتها في ثلاث جمل :

- ارتفاع ثابت نتيجة قوة الطرد المركزي.
- ارتفاع ثابت نتيجة لتغير السرعة عند الدافعة.
- ارتفاع ديناميكي.

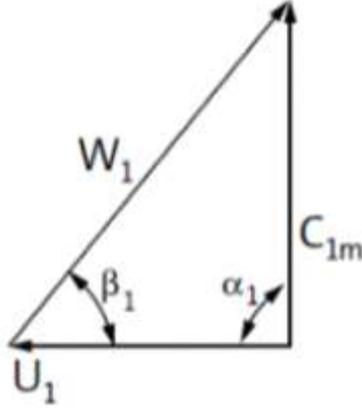
$$H = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2 \cdot g} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2 \cdot g} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2 \cdot g} \quad [m] \quad (II.8)$$

إذا لم يكن هناك تدفق عبر الدافعة ويفرض أنه لا يوجد دوران عند المدخل ، فإنه يتم تحديد الارتفاع بالسرعة المماسية فقط استنادا على العلاقة (II.7) و $C_{2u} = U_2$:

$$H_0 = \frac{U_2^2}{g} \quad [m] \quad (II.9)$$

بالنظر إلى طريقة تكوين مضخة الطرد المركزي، فإنه من الممكن أن يكون التدفق شعاعي في R1 ، ويفترض ان يضل كذلك عند مدخل S1 حيث يكون مدخل مثلث السرعات.

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي

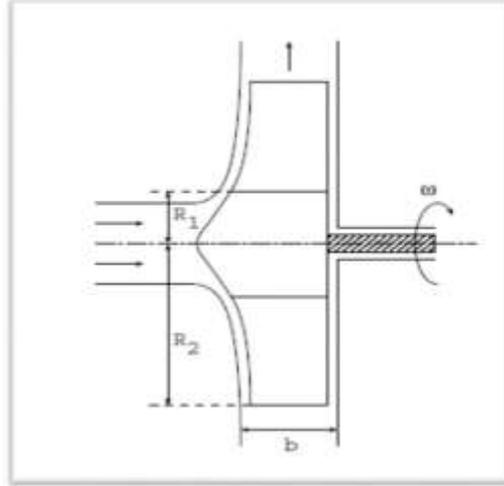


الشكل (II-7): مثلث السرعة عند مدخل الدافعة

عند تصميم مضخة غالبا ما يفترض عدم وجود دوران عند المدخل أي C_{1u} أن تساوي الصفر :

$$\alpha_1 = 90^\circ \Rightarrow \cos 90^\circ$$

$$H = \frac{U_2 - C_{2u}}{g} \quad [m] \quad (II.10)$$



الشكل (II-8): مقطع طولي لدافعة مضخة

تعرف عبارة معدل التدفق خلال المساحة S بالعلاقة التالية:

$$Q_v = C_{2m} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot b \Rightarrow C_{2m} = \frac{Q_v}{2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot b}$$

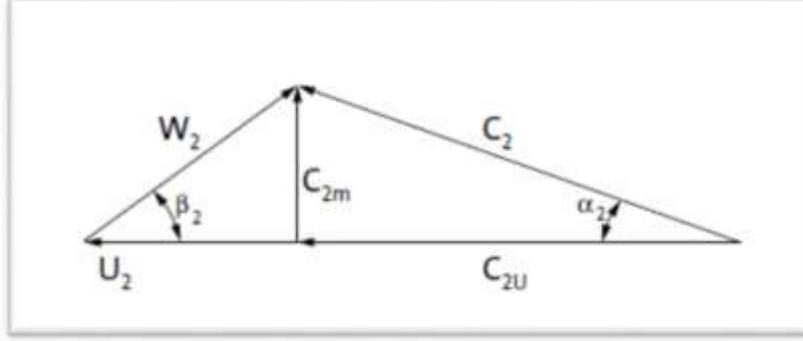
بحيث:

C_{2m} : الاسقاط القطري للسرعة المطلقة.

R_2 : نصف القطر الخارجي للدافعة.

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي

b : سمك الدافعة.



الشكل (9-II): مثلث السرعة عند مخرج المضخة

بالإضافة إلى ذلك يعبر C_{2u} بدلالة الزاوية β_2 ، مثلث السرعة عند مخرج الدافعة ، كما هو مبين في الشكل العلوي:

$$\tan \beta_2 = \frac{C_{2u}}{W_{2u}}$$

$$\Rightarrow W_{2u} = \frac{C_{2u}}{\tan \beta_2}$$

$$U_2 = W_{2u} + C_{2u} \Rightarrow C_{2u} = U_2 - W_{2u}$$

عن طريق تعويض العبارة الأولى في الثانية تكون النتيجة :

$$C_{2u} = U_2 - \frac{C_{2u}}{\tan \beta_2}$$

إذا عوضنا عبارة C_{2u} داخل عبارة الارتفاع نحصل على التالي:

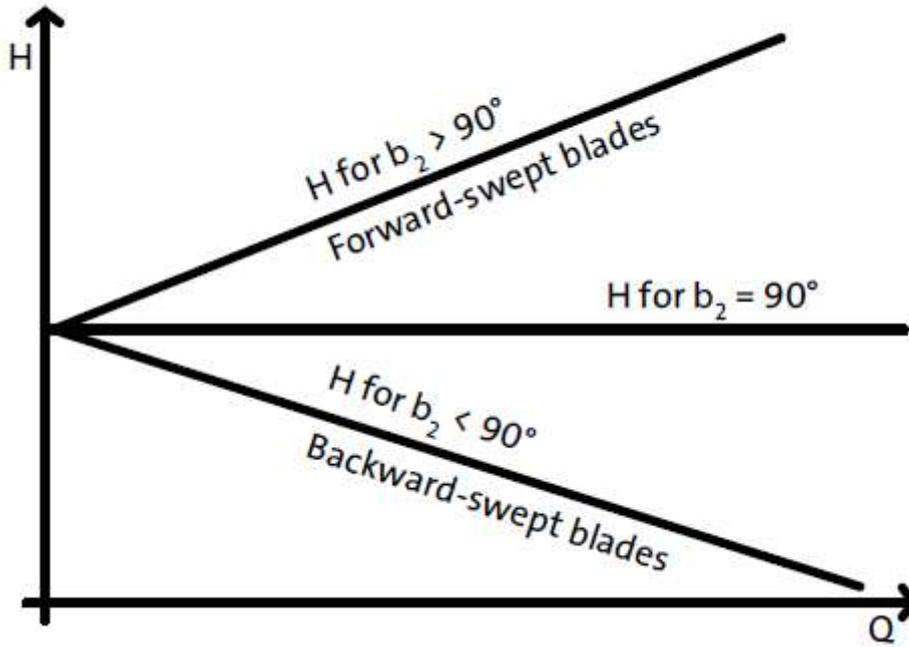
$$C_{2u} = U_2 - \frac{Q_v}{2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot b \cdot \tan \beta_2}$$

$$H_{th} = \frac{U_2 \cdot C_{2u}}{g}$$

العبارة النهائية للارتفاع النظري تكون كالتالي :

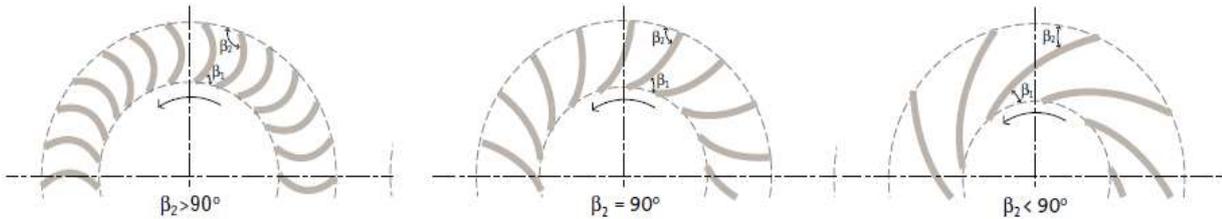
$$H_{th} = \frac{U_2}{g} \left[1 - \frac{Q_v}{2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot b \cdot \tan \beta_2} \right]$$

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي



الشكل (10-II): منحنى الخصائص النظرية لمضخة الطرد المركزي

الارتفاع النظري هو دالة خطية لمعدل تدفق السائل عبر الدافعة، ويعتمد منحنى الخصائص النظرية بشكل أساسي على الزاوية β_2 ، في المضخات العملية تستخدم الزاوية $\beta_2 < 90^\circ$ [5].



الشكل (11-II): أشكال الشفرات حسب زاوية المدخل

II-4- خصائص مضخة الطرد المركزي (Characteristic of the centrifugal pump) :

عند تصنيع المضخة يضع المصنع منحنى يوضح ويصف لنا خصائص المضخة، بحيث تكون جميع الخصائص في منحنى واحد، وبالتالي سوف نتطرق إلى طريقة انجاز المنحني إلي من خلاله يتمكن المستخدم من اختيار المضخة المناسبة و المطابقة لطبيعة العمل التي ستقوم به.

المنحنيات التي نتحدث عنها هي: $\eta_g = f(Q_v)$ ، $H = f(Q_v)$ ، $NPSH_{requis} = f(Q_v)$ ، $P = f(Q_v)$

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي

بحيث:

H : ارتفاع مقياس الضغط للمضخة.

$NPSH_{requis}$: صافي الضغط الموجب للسحب المطلوب.

η_g : المردود الإجمالي للمضخة.

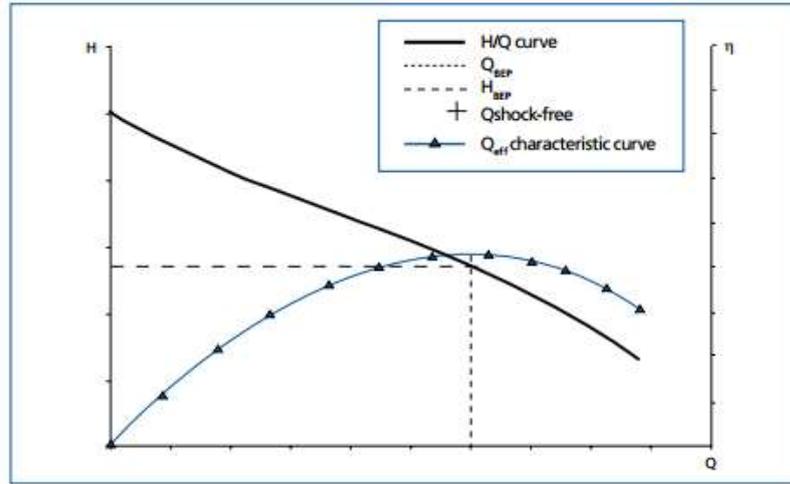
P : الطاقة المستهلكة للمضخة.

Q_v : معدل التدفق الحجمي عبر المضخة.

II-4-1-1-منحنى الخصائص:

$$\eta_g = f(Q_v) \text{ و } H = f(Q_v)$$

يمكن لأحد المنحنيين أن يتضمن ارتفاع المضخة و كفاءتها في آن واحد وذلك بدلالة معدل التدفق الحجمي، يتم توزيع هذه المنحنيات التخطيطية على نطاق واسع في حالة الجمع بين منحنيين الارتفاع و المردود بدلالة التدفق الحجمي بالرغم أنه يمكن العثور على كل منحنى على حدا.



الشكل (II-12): المنحنى النظري لكفاءة و ارتفاع مضخة الطرد المركزي الخاصة.

II-4-2-مردود مضخة الطرد المركزي:

يمكن تحديد مردود مضخة بطريقتين مختلفتين:

- كنسبة بين الطاقة التي نقدمها للسائل و التي تسمى أيضا الطاقة الممتص من طرف السائل، والطاقة التي تستهلكها المضخة وتسمى أيضا الطاقة التي امتصها الأخير (الطاقة الكهربائية التي يقدمها المحرك).

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي

$$\eta_{\text{global}} = \frac{p_u}{p_a}$$

η : المردود الإجمالي للمضخة.

p_u : الطاقة المستردة أو المسترجعة بواسطة المضخة.

p_a : الطاقة المستردة أو المسترجعة بواسطة السائل.

- أو ناتج عدة أنواع من المردود المختلفة (الميكانيكي و الهيدروليكي و الحجمي) كما في العبارة:

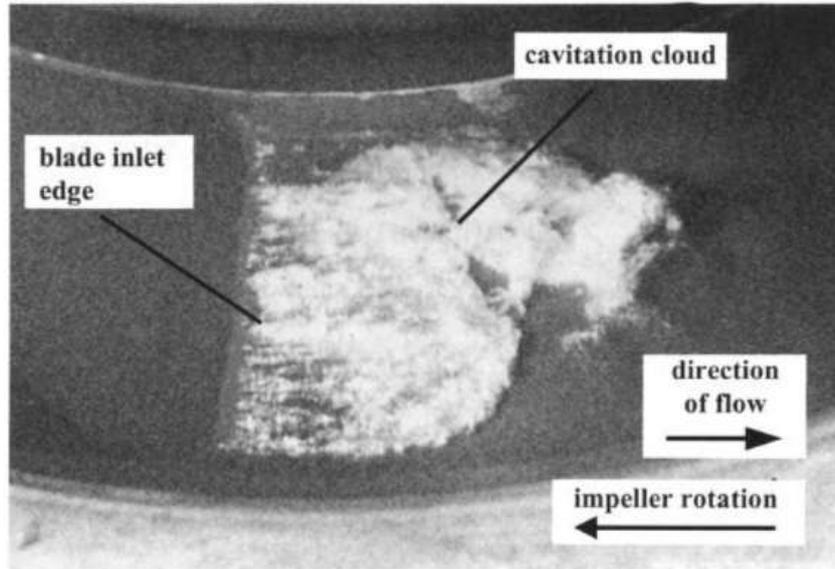
$$\eta_{\text{global}} = \eta_{\text{mec}} \cdot \eta_{\text{hyd}} \cdot \eta_{\text{vol}}$$

II-4-3-منحنى NPSH:

في مضخة الطرد المركزي تدور الدافعة بسرعة عالية مما يؤدي إلى تسريع المزيد من السوائل حيث لا يوجد تغير في الطاقة المحتملة، لهذا فهي طاقة الضغط الذي سيتم تقليله، مما يؤدي إلى انخفاض في الضغط داخل المضخة، إذا وجد الضغط المنخفض تحت البخار في هذه الحالة يكون خطر التكيف موجودا، ولهذا فان الشركات المصنعة يجب أن تزود المضخة بنمط NPSH الذي يميز مضخة الطرد المركزي الخاصة بها. [6]

II-4-4-التكيف Cavitation :

التكيف هو ظاهرة غير مرغوب فيها تتوافق مع تكون فقاعات البخار داخل السائل أو على جدران الدافعة في المناطق التي يقل فيها الضغط المطلق للسائل بدرجة كافية تحت ضغط البخار المشبع، ويعتمد هذا الأخير على طبيعة السائل و درجة حرارته.



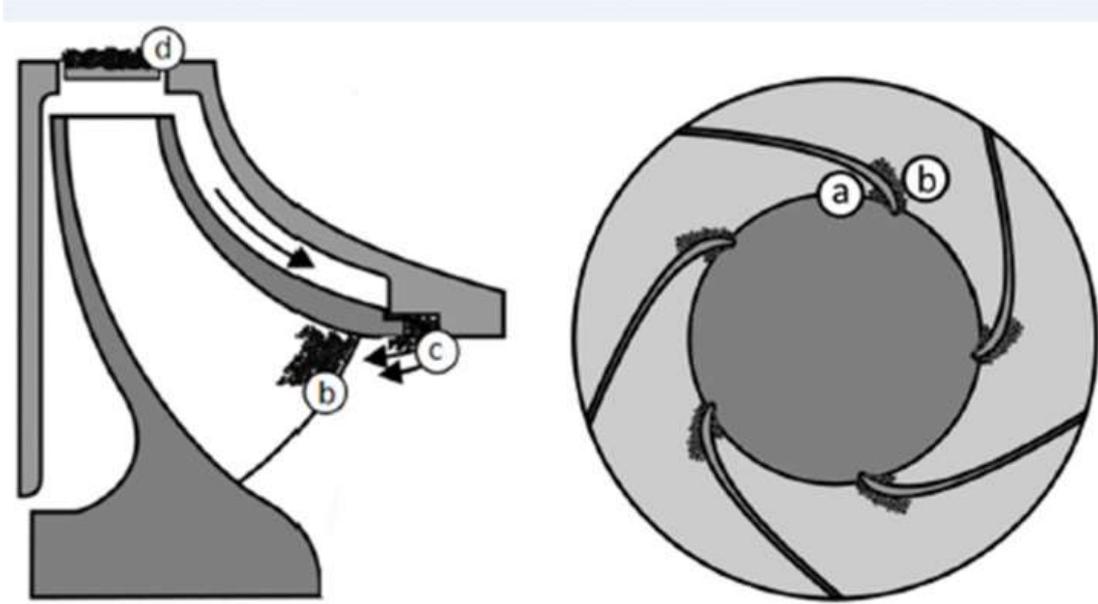
الشكل (II-13): صورة لتكيف على دافعة مضخة

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي

تتم مواجهة ظواهر التكيف أثناء انخفاض كبير في ضغط التدفق ، وخاصة عند مدخل الدافعة بالقرب من الحافة الأمامية للشفرات. وعند حدوث مثل هذا الانخفاض في الضغط، ينتج البخار، ويتم نقل فقاعات البخار هذه عن طريق التدفق إلى مناطق الضغط العالي، بينما يكون الضغط خارج فقاعات البخار هذه أكبر من الضغط الداخلي.

يتم الضغط على كل السطح الخارجي للفقاعة مما يتسبب في حدوث انفجار، ثم تتلف المعدات المرتبطة بالانفجار.

وتتجلى تأثيرات التكيف في انخفاض أداء المضخة ، وتآكل الأجزاء المعدنية ، والاهتزازات القوية التي تضر بشدة على طول عمر المضخة. [7]

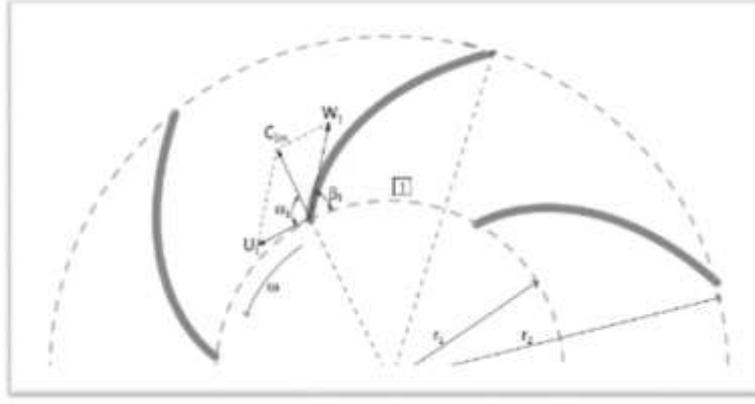


الشكل (II-14): تأثير التكيف على مضخات الطرد المركزي

II-4-5-المصطلح $NPSH_{requis}$:

لتجنب الوقوع في مشكلة التكيف، يجب أن يتجاوز الضغط الإجمالي عند مدخل المضخة ضغط البخار بمقدار أدنى، تسمى هذه الكمية الدنيا بـ $NPSH_{requis}$ والتي تعتمد فقط على تصميم المضخة.

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي



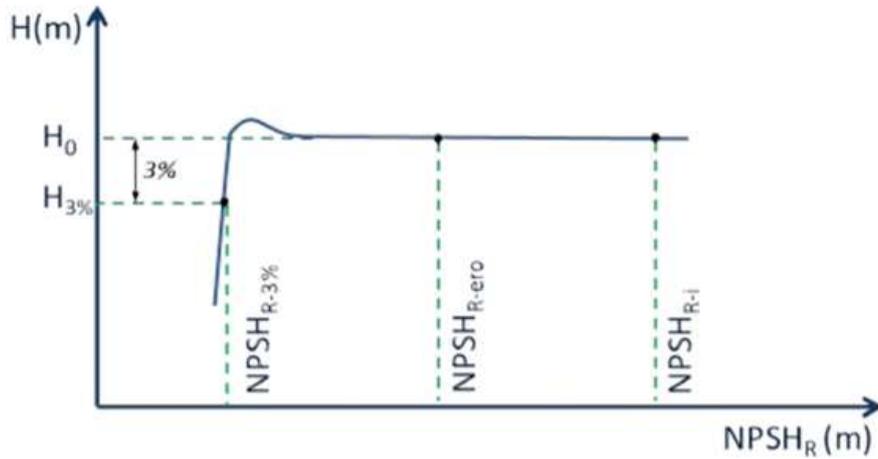
الشكل (II-15): مثلث السرعات عند المدخل

بالعود إلى المعطيات عند مدخل شفرات الدافعة تحدد عبارة $NPSH_{requis}$ كما يلي:

$$NPSH_{requis} = \frac{U_1^2}{2 \cdot g} + \lambda \cdot \frac{W_1^2}{2 \cdot g} \quad [m]$$

λ : معامل يفسر الضغط المنخفض الديناميكي بين مدخل الدافعة و أقل نقطة ضغط داخل المضخة.

تعرف معايير و رموز اختبار إلى $NPSH_{requis}$ على أنها القيمة التي تحد من انخفاض ارتفاع مقياس الضغط الى نسبة مئوية معينة، و على العموم فان $NPSH_{requis}$ يتوافق مع انخفاض ب 3% من ارتفاع مقياس الضغط، ويجرى هذا الاختبار على معدل تدفق ثابت.



الشكل (II-16): انخفاض ب 3% من ارتفاع مقياس الضغط

II-6-4-المصطلح $NPSH_{disponible}$:

هو الفرق بين الضغط المطلق الإجمالي للمضخة و ضغط البخار عند مدخلها الناتج عن تركيبها.

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي

وبطبيعة الحال يكون لدينا $NPSH_d > NPSH_r$ ، مجال الأمان الأكثر استخدام هو:

$$NPSH_d - NPSH_r = 0.5[m] \text{ ou } 1[m]$$

ولتجنب حدوث ظاهرة التكهف، يجب توخي الحذر للحد من فقدان الضغط أثناء عملية دخول السائل للمضخة، تجنب انخفاض ضغط الخزان و في حالة استخدام المضخة عند الشفط، تجنب ارتفاع شفة المضخة عند عملية امتصاص السائل. [6]

5-II-الخصائص الإنشائية لمضخة الطرد المركزي (Construction) :(characteristic

1-5-II-الأنواع المختلفة للدافعة (impeller):

يمكن أن يؤثر اختيار نوع الدافعة للمضخة بشكل كبير على نجاح المضخة في أداء المهمة الموكأة إليها، حيث يجب على المضخة تحقيق كفاءة و مردود عاليين، إلي جانب تجنب الصيانة المستمرة للدافعة، ويتم تحقيق كل هذه المتطلبات من خلال الاختيار الصائب و الصحيح لنوع المضخة، حيث نميز ثلاثة أنماط رئيسية للدوافع مع بعض الأنماط الفرعية.

1-1-5-II-الدافعة المفتوحة (Open impeller):

لا تحتوي الدافعة المفتوحة على غطاء أمامي ولا خلفي، لذلك فهذا النوع من الدافعة معرض للكسر و التلف على مستوى الشفرات نظرا لعدم وجود الأغطية الأمامية و الخلفية أو كما تسمى في بعض المراجع بالجدران، لذا فهي تستعمل لرفع السوائل الخفيفة التي تحتوي على جسيمات صغيرة، ومن العيوب الأخرى لهذا النوع هو الحاجة إلى أن تكون الشفرات سميكة لتحمل ضغط السائل، وينتج عن هذا السمك الإضافي انخفاض في معدل التدفق للسائل.

ومن بين ميزاتها قدرتها العالية على تحويل الطاقة الميكانيكية إلى هيدروليكية بشكل ممتاز إي لا يوجد ضياع تقريبا، أيضا سهولة تصنيعها مما يقلل تكاليف إنتاجها.

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي



الشكل (II-17): الدافعة المفتوحة

II-5-1-2- الدافعة المصمتة أو المغلقة (Closed impeller):

تحتوي الدافعة المغلقة (أو المصمتة) على غطاء متصل بالقاعدة و آخر في أعلى الدافعة، ولهذه الأسطح والأغطية عدة مزايا منها القضاة على الخسائر الناجمة عن التسرب عبر شفرات الدافعة أو رجوع السائل إلى المدخل، وتوفر القوة و الثبات للشفرات مما يقلل من سمكها و بذلك يزداد معدل لتدفق عبرها. والعيب الواضح في هذا النوع من الدافعة هو أن أي جسيمات أو حطام أكبر من أن يمر عبرها يصبح عالق داخل الدافعة مما يتطلب إزالتها يدويا، أي عملية تنظيف و صيانة دورية، لذا لا ينصح استخدامها في مياه الصرف الصحي.



الشكل (II-18): الدافعة المغلقة

II-5-1-3- الدافعة شبه مفتوحة (Semi-Open):

تحتوي الدافعة الشبه المفتوحة على غطاء واحد سواء في لخلف أو في الأمام، ولديها مزايا و عيوب لغيرها من الأنماط الأخرى، نظرا لوجود غطاء في قاعدة الدافعة فان تدفق السائل يكون في أعلى الدافعة مما يؤدي إلى انخفاض كفاءتها مقارنة بالدافعة المصمتة، وكذا يسمح بمرور الجسيمات و الحطام عبرها.

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي

وعيبها الرئيسي في وجود غطاء واحد يحمي الشفرات من ضغط السائل، وتبقى أفضل بكثير من الدافعة المفتوحة [8].



الشكل (II-19): الدافعة الشبه مفتوحة

II-5-1-4- أنواع بعض الدوافع (impellers) الفرعية:



الشكل (II-21): دافعة غير مسدودة Non-Clog



الشكل (II-20): دافعة على شكل دوامة Vortex

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي

II-5-2- الخصائص التصنيعية لمضخة الصرف الصحي:

		Standard
Scope	Discharge	80 – 150 mm
	Motor Power	2.2 – 22 kw (3ph)
	Performance	Capacity: 200 – 5400 lpm Head: 4 – 40 m
Liquid	Type	Sewage
	Max. Temp	40°C
	Max. Solids	Refer to table below
Submergence	Maximum	3 m
	Minimum	Refer to low water level (L.W.L) in dimensions.
Construction	Impeller	Non-clog single channel. Non-clog double channel.
	Mechanical Seal	Oil lubricated double mechanical seal, single spring.
Materials	Casing	Cast Iron
	Impeller	Cast Iron
	Suction Cover	Cast Iron
	Shaft	403 Stainless Steel
	Motor Frame	Cast Iron
	Fasteners	304 Stainless Steel
	Mechanical Seal	Upper Faces : Carbon / Ceramic Lower Faces : Silicon Carbide / Silicon Carbide Lubricating Oil: Turbine oil VG32 (SAE 10W/20W)
Motor	Type	Air filled dry submersible, IP58, Class F insulation.
	Poles/Speed	4 pole / 1450 rpm
	Applicable Voltages	380/400/415 Volt, 3 phases, 50 Hz
	Starting	DOL (2.2 kW) Star-Delta (3.7 to 22 kW)
	Protection	In built overload protection (2.2 kW) Miniature thermal protector (3.7 to 22 kW)
	Bearings	Pre lubricated sealed ball bearings.
Cable	Length	10 m
Accessories	Flange	Discharge elbow with screwed companion flange.

الجدول (II-1): البطاقة التقنية للمضخة الخاصة بمياه الصرف الصحي [09].

الفصل الثاني (II): مضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي

Solids Handling			
Model - discharge - motor kW	80 Ø All	100 Ø All	150 Ø All
Max. diameter of solids	76 mm		

الجدول (2-II): التعامل مع المواد الصلبة داخل المضخة. [09]

الفصل الثالث

(III)

النمذجة العددية

Numerical modelling

الفصل الثالث (III): النمذجة العددية Numerical modelling

III-1- تمهيد:

يعتبر ميكانيكا السوائل (الموائع) أحد فروع الفيزياء، ومع ذلك فهي تنسب إلى علم الرياضيات، وكما تسمى بالرياضيات التطبيقية، فضلا عن ذلك ونظرا لمشاكل التطبيقات الهندسية يرى المهندسون أنها علم يعتمد بشكل كبير على التجربة و التطبيق.

والواقع أن ميكانيكا الموائع لا يمكن تطبيقها في أرض الواقع إلا بإمام كبير بعلم الرياضيات وبعمق، وقد تم تفسير و ترجمة علم ميكانيكا الموائع بمعادلات تفسر الظواهر الفيزيائية للموائع، وهي معادلات تصف السوائل في حركتها و التي تحكم ميكانيكا الموائع، ولكن تجدر الإشارة إلى أن حل هذه المعادلات يتطلب قدرات و طرق حاسوبية هائلة، ولهذا الغرض سيقدم في هذا الفصل الطرق الرياضية لحل معادلة كمية الحركة و معادلة الاستمرارية [10].

III-2- عموميات حول ميكانيكا الموائع:

III-2-1- تعريف المائع:

تطلق كلمة مائع بشكل عام على السوائل و الغازات، و ميكانيكا الموائع تُعنى باستنباط العلاقات الأساسية التي تحكم حركة و سكون الموائع، وتضم وسائل هذا الاستنباط النماذج الرياضية التي تُبنى على ما يعرف بقوانين الحفظ الأساسية، إضافة إلى التجربة حين تقصر الوسائل النظرية عن الاستنباط. يُعرّف المائع بأنه المادة التي يتغير شكلها باستمرار عند تعرضها لإجهادٍ قصّي، و مهما صغر هذا الإجهاد. [11]

III-2-2- البعد Dimension:

يتم التعبير عن أي خاصية طبيعية عن طريق مجموعة من الأبعاد الأساسية وهي الكتلة والطول والزمن في نظام القياس المطلق؛ وهو ما يعرف بنظام (M, L, T)، أو عن طريق مجموعة من الأبعاد المشتقة وهي القوة والطول والزمن ويعرف بنظام (F, L, T)، والأبعاد الأولية نوعان:
أ) الأبعاد المطلقة absolute units و هي بدون جاذبية و الطول L و الكتلة M و الزمن T.
ب) الأبعاد الهندسية وهي التي بها جاذبية و هي الطول L و القوة F و الزمن T. [12]

الفصل الثالث (III): النمذجة العددية Numerical modelling

III-2-3- الوحدة :Unit

يمكن أن يعرف كل بعد من الأبعاد المذكورة أعلاه بعدد من الوحدات المختلفة، وهو ما يعرف بنظام الوحدات، و الوحدات عدة أنواع أكثرها شيوعاً الفرنسية CGS و الانجليزية FPS و العالمية SI وهي التي عم استعمالها عالمياً حالياً، وعموماً تستعمل معظم المراجع القديمة الوحدات الفرنسية و الانجليزية. [12]

III-2-4- خواص الموائع (Properties of Fluids):

❖ كثافة المائع Fluid Density:

الكثافة d هي قيمة بدون أبعاد و يتم تعريفها على أنها الكتلة الحجمية للمائع بالنسبة للكتلة الحجمية للماء $d = \rho / \rho_e$ ، و مقلوب الكتلة الحجمية بالنسبة للوحدة يسمى الكتلة الحجمية النوعية: [13]

$$v = 1/\rho [m^3 kg^{-1}]$$

❖ الوزن النوعي Specific Weight:

الوزن أو الثقل النوعي و يعرف بناتج الضرب بين الكتلة الحجمية للمائع في التسارع الأرضي (الجاذبية): [13]

$$\gamma = \rho \cdot g [N \cdot m^{-3}]$$

❖ الانضغاطية Compressibility:

يوصف السريان بأنه انضغاطي إذا كانت تغيرات الكثافة فيه معتبرة، أما إذا كانت الكثافة صغيرة نسبياً فعندئذ يوصف السريان بأنه لا انضغاطي. [11]

❖ ضغط البخار Vapour pressure:

إن التحديد التجريبي لضغط البخار بسيط نسبياً في نطاق الضغط بين 1 و 200 كيلو باسكال، والذي يشار إليه أحياناً باسم منطقة الضغط المعتدل، وتتراوح معظم البيانات المنشورة بين 5 و 100 كيلو باسكال، وعادة ما توجد أفضل دقة تجريبية بالقرب من نقطة الغليان العادية أو الضغط الجوي. تصبح القياسات صعبة عند الضغط المنخفض (1 PS كيلو باسكال)، وهي متاحة لعدد محدود من المواد فقط.

الفصل الثالث (III): النمذجة العددية Numerical modelling

وبالتالي فإن البيانات ذات جودة أقل وكثيراً ما تكون عرضة لأخطاء منهجية كبيرة. وفي ظل الضغوط ودرجات الحرارة الأعلى، فإن التحليل كثيراً ما يحد من جودة البيانات التجريبية. [14]

❖ التوتر السطحي Surface :

يقاس التوتر السطحي على أنه الطاقة المطلوبة لزيادة مساحة سطح سائل بوحدة مساحة، ينتج التوتر السطحي لسائل ما عن عدم توازن قوة الجذب بين الجزيئات. [15]

❖ اللزوجة Viscosity:

ينشابه الموقف عندما يتحرك السائل نسبة إلى الحالة الصلبة أو عندما يتحرك سائلان نسبة إلى بعضهما البعض، فنحن نتحرك بسهولة نسبية في الهواء، ولكن ليس في المياه أيضاً، إن نقل النفط سوف يكون أكثر صعوبة، كما يمكن ملاحظته من خلال الحركة البطيئة لأسفل للكرة الزجاجية التي تسقط في أنبوب ممتلئ بالزيت ويبدو أن هناك خاصية تمثل المقاومة الداخلية للسائل للحركة أو "السيولة"، وهذه الخاصية هي اللزوجة. [16]

III-2-5-أنواع التدفق:

بعض التدفقات سلس ومنظم في حين أن تدفقات أخرى فوضوية إلى حد ما. تسمى حركة السوائل التي تم طلبها بدرجة كبيرة والتي تتميز بطبقات سلسلة من السوائل Laminar، إن كلمة laminar تأتي من حركة جزيئات السوائل المتجاورة في "رقائق أو صفائح"، عادة ما يكون تدفق السوائل عالية اللزوجة مثل الزيوت في السرعات المنخفضة Laminar. إن الحركة غير المرتبة بدرجة كبيرة التي تحدث عادة في السرعات العالية وتتسم بتقلبات السرعة تسمى مضطربة Turbulent، تدفق السوائل منخفضة اللزوجة مثل الهواء في السرعات العالية عادة ما يكون مضطرباً. يؤثر نظام التدفق بشكل كبير على الطاقة المطلوبة للضخ. إن التدفق الذي يتناوب بين التحول إلى الرقائقي والاضطراب يسمى تدفقاً انتقالياً Transitional، وقد أسفرت التجارب التي أجراها أوسبورن رينولدز Osborn Reynolds في الثمانينات من القرن التاسع عشر عن إنشاء رقم رينولدز Reynolds number Re الذي لم يتم تحديده أبعدته، وهو الرقم الذي كان بمثابة المعيار الرئيسي لتحديد نظام التدفق في الأنابيب. [16]

III-3-الأشكال العامة للمعادلات الأساسية:

الفصل الثالث (III): النمذجة العددية Numerical modelling

التدفق في الأجهزة التوربينية (Turbomachinery) يكون على العموم ثلاثي الأبعاد، غير مستقر أو غير ثابت (unstationary)، لزج (viscous) وفوضوي (turbulent).

تم بالفعل إنشاء المعادلات التطبيقية لتفسير حركة الموائع، وهي معادلة الاستمرارية و المعادلة الديناميكية (Navier-Stokes)، وفي السوائل القابلة للضغط نضيف إلى هذا النظام معادلة الطاقة ومعادلة حالة السوائل، مع مراعاة احتكاك السائل على الجدران و كذا كبح طبقات السوائل باللزوجة، فضلاً عن ذلك الاضطرابات التي تسببها العوامل الخارجية و الطبيعية و التي تؤثر في حرك السائل طبيعته، وهذه الخسائر العشوائية يصعب التنبؤ بها في بعض الحالات.

هذا النوع من المعادلات المعقدة يحتاج إلى عددا معينا من التبسيطات لحلها في وقت وجيز و بشكل مبسط [17].

III-3-1- معادلة حفظ الكتلة (معادلة الاستمرارية):

تعتبر معادلة الاستمرارية (continuity equation) عن المبدأ الأول لحفظ الكتلة، تكون الزيادة في الكتلة على مدى فترة زمنية معينة، أي أن التغير في الكتلة متعلقة بالتغير في الزمن للسائل الموجود في الحجم المدروس (حجم التحكم)، بحيث أن تكون مساوية لمجموع كتل السوائل الداخلة لحجم التحكم، وأقل من التي خرجت منه.

معادلة الاستمرارية تكتب بالصيغة التالية:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (\text{III.1})$$

III-3-2- معادلات حفظ كمية الحركة:

عندما تخضع جسيمات السائل إلى قوى ماثرة داخل نظام فإنها حتما ستتحرك السائل داخل هذا النظام، وعندها يتم تطبيق و استخدام قوانين الميكانيكا الكلاسيكية.

تكون القوى المطبقة على حجم صغير من الجسيمات للسائل هي:

- قوى الحجم تتناسب مع الحجم (العبارة 1 و 2 و 3)
- قوى الضغط تتناسب مع المساحات وطبيعة الأسطح (العبارة 4)
- قوي القصور الذاتي تتناسب مع التسارع (العبارة 5)

الفصل الثالث (III): النمذجة العددية Numerical modelling

- قوى الاحتكاك الناتجة عن اللزوجة (العبرة 6)

قانون حفظ كمية الحركة تترجمه معادلات نافي ستوكس (Navier-Stokes) من أجل تدفق غير مستقر (instationnaire)، وهذه المعادلات تعبر بكل بساطة عن القانون الأساسي لديناميكيات الموائع.

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = \rho \left[\underbrace{(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v}}_2 + \underbrace{\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}}_3 \right] = \underbrace{-\nabla p}_4 + \underbrace{\rho g}_5 + \frac{\partial}{\partial x} \left[\underbrace{\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x} \right\}}_6 \right] \quad (\text{III.2})$$

في هذا العمل نضع الفرضيات التالية:

1. التدفق دائم: $\frac{\partial}{\partial t} = 0$
2. التدفق مضطرب (turbulent).
3. التدفق ثلاثي الأبعاد و لا يوجد تحويل للطاقة.
4. السائل غير قابل للانضغاط $\rho = \text{constante}$

يتم عرض و تقديم السائل في معادلات حفظ كمية الحركة بأحد النظامين للتدفق: الانسيابي أو ألففائحي (laminar) أو المضطرب (turbulent). [18]

III-3-3- معادلة الاستمرارية في نظام الجريان الانسيابي (laminar):

$$\text{div } \vec{v} = 0 \quad (\text{III.3})$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (\text{III.4})$$

III-3-4- معادلة نافي ستوكس في نظام الجريان الانسيابي (laminar):

إن إسقاط معادلة نافي ستوكس على المحاور الثلاثة للمعلم الديكارتي يعطي ما يلي: [18]

$$\begin{cases} \rho \left(U \frac{\partial u}{\partial x} + V \frac{\partial u}{\partial y} + W \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(U \frac{\partial v}{\partial x} + V \frac{\partial v}{\partial y} + W \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(U \frac{\partial w}{\partial x} + V \frac{\partial w}{\partial y} + W \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \end{cases} \quad (\text{III.5})$$

الفصل الثالث (III): النمذجة العددية Numerical modelling

III-4-1-معادلاتي الاستمرارية و نافي ستوكس في النظام المضطرب (turbulent):

قبل تقديم هذه المعادلات في هذا النظام، نشير الى بعض الملاحظات المهمة حول النظام الاضطرابي لنتمكن من فهم مصدر المعادلات الناتجة.

III-4-1-1-ملاحظات حول النظام المضطرب (turbulent):

معظم التدفقات تصبح غير مستقرة في قيمة حرجة معينة تسمى رقم رينولدز (le nombre de Reynolds)، ويمثل هذا الرقم البعدي أو الأبعادي نسبة القصور الذاتي على قوى الاحتكاك للسائل، فهو يسمح بتحديد خصائص النظام التدفق، وإذا كان هذا الرقم أصغر من القيمة الحرجة فالتدفق في نظام الجريان الانسيابي (laminar)، ومع ذلك الأعداد التي تتجاوز القيمة الحرجة وما فوق قيمة معينة يوصف التدفق بأنه مضطرب.

إن معادلات نافي ستوكس (Navier-Stokes) و معادلة الاستمرارية هي المعادلات الأربعة الضرورية لحل مشاكل ميكانيكا الموائع عند أربعة مجاهيل، مركبات السرعة (u, v, w) والضغط p ومع ذلك يتطلب النظام للشروط الحدية، و شروط التلامس بالجدران تكون محققة أي أن مركبات السرعة العمودية و المماسية على الحائط (Wall) تكون متعادلة أي تساوي الصفر.

III-4-2-مستويات المحاكاة لمعادلات (Navier-Stokes):

حتى الآن هناك ثلاث قريبات محتملة حسب الجدوى، ووقت الحساب و قوة و دقة الجهاز، وهي كالتالي:

III-4-2-1-المحاكاة واسعة النطاق (Large Scale Simulation):

يتضمن الحل ديناميكيا المقاييس الكبيرة بشكل صريح (explicitement) بحيث يعتمد مقياس الطاقة على هندسة التدفق، في حين تأثير المقاييس يتم نمذجته أصغر بطابع أكثر شمولية، ولذلك فان هذه الطريقة تستند على الفصل بين المقاييس الكبيرة و الصغيرة عن طريق التصفية (spatiotemporel)، وينتج عن ذلك فائض في الحساب.

III-4-2-2-المحاكاة العددية المباشرة (Direct numerical simulation):

الفصل الثالث (III): النمذجة العددية Numerical modelling

تتضمن حل معادلات نافي ستوكس بأقصى دقة، بحيث يجب أخذ كل المقاييس الزمنية في الاعتبار و مساحة الحل، و من وجهة النظر العددية يعني هذا أن النطاقات المكانية و الزمنية للتفريق بينها يجب أن تكون على الأقل أدق من المقاييس المميزة الأصغر النشطة ديناميكيا للحل، ولكن هذا ليس فعالا إلى حد كبير بالنسبة للتدفقات في حالة اضطراب كبيرة.

III-4-2-3-التقريب الإحصائي (Statistical approximation):

لعله يعتبر أكثر المستويات فجوة و بعد في وصف الظاهرة، فهو حساب الحل المتوسط بشكل مباشر وهذا يعني ضمنا أن الاضطرابات قد صيغة على غرار ما حدث، ويسمي هذا النهج ب RANS أي(Reynolds Average Navier-Stokes equations)، وهي تستخدم على نطاق واسع في التطبيقات الصناعية بسبب انخفاض تكلفت حسابها، ومع ذلك لا تسمح لنا هذه الطريقة بإبراز و إظهار الأحداث نادرة الحدوث في حالات معينة(عدم الاستقرار، الديناميكية الهوائية، نقل الطاقة ، الخ) [19].

III-5-تحليل رقم رينولدز (Decomposition of Reynolds):

وفقا لتحليل هذا العدد (Reynolds) فان كل كمية مادة مثل درجة الحرارة أو الضغط أو السرعة، نلاحظ أن ϕ ينقسم الى قيمة متوسطة $\bar{\phi}$ (average value) والتقلب (fluctuation) حول هذه القيمة المتوسطة ϕ' ، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$\phi = \bar{\phi} + \phi' \quad \text{(III.6)}$$

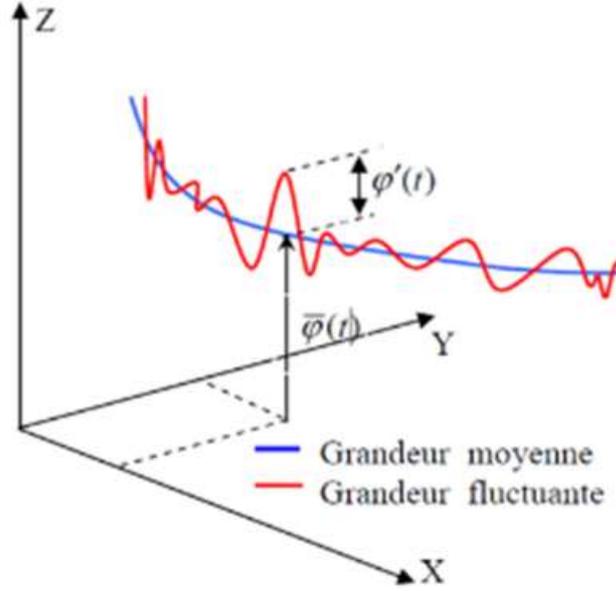
بحيث:

ϕ : القيمة الحقيقية.

$\bar{\phi}$: القيمة المتوسطة.

ϕ' : التقلب حول القيمة المتوسطة.

الفصل الثالث (III): النمذجة العددية Numerical modelling



الشكل (III-1): مبدأ تحليل رينولدز

ولقد وجدنا أنه من المهم أن نكتب معادلات الحركة في النظام المضطرب لأجل إظهار تأثير الاضطراب، حيث يتم استبدال الكميات الفعلية بمعاملات متوسطة، وهي السرعات الثلاثة و الضغط، U ، V و W ، كالتالي:

$$u = \bar{u} + \acute{u} \quad (\text{III.7})$$

$$v = \bar{v} + \acute{v} \quad (\text{III.8})$$

$$w = \bar{w} + \acute{w} \quad (\text{III.9})$$

$$p = \bar{p} + \acute{p} \quad (\text{III.10})$$

ملاحظة: يتم افتراض الكثافة و اللزوجة الديناميكية للسائل ثوابت. [20]

بعد استخلاص معادلات نافي ستوكس و جعل أثار الاضطرابات تظهر، كما قمنا بالتبسيطات اللازمة و الممكنة و ينتج عن ذلك المعادلات التالية:

المعادلة وفقا لتقلب (fluctuations) مركبات رقم رينولدز:

بالنسبة إلى التدفق الثابت، غير قابل للضغط، اللزج و بدون نقل للطاقة، يتم تقديم معادلات نافي ستوكس (Navier-Stokes) كما يلي:

الفصل الثالث (III): النمذجة العددية Numerical modelling

III-5-1- معادلة الاستمرارية المتوسطة:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (\text{III.11})$$

III-5-2- معادلات نافي ستوكس المتوسطة:

$$\begin{cases} \rho \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \mu \nabla^2 \bar{u} - \rho \left(\frac{\partial \bar{u}\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}\bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{u}\bar{w}}{\partial z} \right) \\ \rho \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \mu \nabla^2 \bar{v} - \rho \left(\frac{\partial \bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}\bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}\bar{w}}{\partial z} \right) \\ \rho \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \mu \nabla^2 \bar{w} - \rho \left(\frac{\partial \bar{u}\bar{w}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}\bar{w}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}\bar{w}}{\partial z} \right) \end{cases} \quad (\text{III.12})$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2 (\bar{u}^2)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (\bar{u}^2)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 (\bar{u}^2)}{\partial z^2} \quad \text{بحيث يكون:}$$

وقد تم حساب متوسط هذه المعادلات الديناميكية للسوائل باستخدام المصطلحات الجديدة التي تعكس نتائج التغيرات في السرعات و تشكل نقل للحركة بسبب التقلبات في السرعة، وهذه المصطلحات الجديدة تسمى

بمعوقات و قيود رينولدز أو إجهاد القص (*Reynolds constraints*) وهي $\left(\frac{\partial \bar{u}\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}\bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{u}\bar{w}}{\partial z} \right)$

$$\left(\frac{\partial \bar{v}\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}\bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}\bar{w}}{\partial z} \right), \left(\frac{\partial \bar{w}\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{w}\bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}\bar{w}}{\partial z} \right), \frac{\partial \bar{u}\bar{w}}{\partial z}$$

وتعكس هذه العوامل تأثير الاضطرابات على تطوير متوسط الحركة وجعل أنظمت المعادلات مفتوحة (يكون عدد المجاهيل أكبر من عدد المعادلات المتاحة)، ثم تنشأ مشكلة النظام المغلق. [4]

III-5-3- نمط اللزوجة المضطربة:

يسمح مفهوم اللزوجة المضطربة لرينولدز بالتعبير عن الضغوط كدالة لمتوسط تدرجات سرعة التدفق، وتثير فكرة اللزوجة المضطربة مشكلة الإغلاق، وقد تم التعبير عن هذا المفهوم من خلال فرضية التي تم تمديدها فيما بعد:

$$\tau_{ij} = -\rho \overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) \delta_{ij} \quad (\text{III.12})$$

مع العلم K ، δ_{ij} ، μ_t هم على التوالي الطاقة الحركية المضطربة و اللزوجة الديناميكية المضطربة ورمز كرونكر (Kronecker):

الفصل الثالث (III): النمذجة العددية Numerical modelling

$$K = \frac{1}{2} \overline{u'_i u'_j} \quad (\text{III.13})$$

لدينا الآن مجهول جديد (μ_t)، تسعى نماذج الاضطرابات الى غلق هذا المجهول للحصول على معادلات تحتوي على متوسط السرعة والضغط فقط يجب أن نغلق معادلات Rans بنمذجة مصطلح Reynolds وفقا لمتوسط معدل التدفق، مع إزالة أي إشارة إلى الجزء المتقلب من السرعة، وهذه هي مشكلة الإغلاق.

في إطار «CFX-Pre» يوجد طريقتان معتمدتان:

1. نموذج اضطراب بمعادلتين: نموذج "K- ω SST (Shear Stress Transport)"
2. نموذج اضطراب بمعادلتين: نموذج "K-Epsilon"

III-5-3-1- نموذج k- ω sst

أن نموذج (k- ω sst (shear stress transport)) أو نقل إجهاد القص المضطرب مشتق من النموذج (k- ω) القياسي، يجمع هذا النموذج بين دقة و قوة النموذج (k- ω) في المنطقة القريبة من الحائط و النموذج (k- ϵ) بجميع خصائصه للتدفق الحر بعيدا عن الحائط، ويعدل تعريف اللزوجة المضطربة ليأخذ في الاعتبار نقل إجهاد القص المضطرب، والتي تعطى بالعلاقة المبسطة التالية:

$$\mu_t = \frac{\rho k}{\omega} \frac{1}{\max\left(\frac{1}{\alpha^*} F(\Omega, k, \omega, y)\right)} \quad (\text{III.14})$$

$F(\Omega, k, \omega, y)$ هي دالة تعتمد على معدل الدوران Ω لـ (k- ω) والمسافة العادية على الحائط y ، التحسينات التي أدخلت على هذا النموذج تجعل منه أكثر موثوقية لفئة أوسع من التدفقات (التدفقات مع تدريجات ضغط معاكسة، وأسطح محمل الموجات الصدمية العابرة للموجات الصوتية) ... الخ. [21]

III-5-3-2- نموذج k-Epsilon

للتغلب على قيود و محدودية النموذج السابق، توجد نماذج للاضطرابات تأخذ في الاعتبار نقل الكميات المضطربة من خلال ربطها بمعادلات نقل تفاضلية، نموذج الإغلاق (K-e) هو جزء من هذه الفئة من النماذج، تم تطويره من قبل (Jones and Launder) في عام 1974 وهو يستخدم على نطاق واسع لكونه عام للغاية، فهو حتى الآن الأكثر شهرة والأكثر استخداما من قبل رموز الحساب.

النموذج القياسي (K-e)، هو نموذج شبه تجريبي يستند إلى معادلات نقل الطاقة الحركية المضطربة (K) و تبديده (e). [21]

الفصل الثالث (III): النمذجة العددية Numerical modelling

✚ معادلة الطاقة الحركية المضطربة (K):

داخل المعادلة المضبوطة الدقيقة (K)، تتضمن بعض المصطلحات لكميات غير مجهولة

$$: r = 1, q = 1 \quad (\bar{u}_j, p, k, \varepsilon)$$

$$r_q \rho_q \left[\overline{U_{jq}} \frac{\partial k_q}{\partial x_j} \right] = -r_q \rho_q \left[\overline{u'_{iq} u'_{jq}} \frac{\partial (\overline{U_{jq}})}{\partial x_j} \right] - \frac{1}{2} r_q \rho_q \left[\frac{\partial (\overline{u'_{iq} u'_{iq} u'_{jq}})}{\partial x_j} \right] - r_q \rho_q \left[\frac{\partial (u'_{jq} p')}{\partial x_j} \right] - r_q \rho_q \varepsilon_q \quad (\text{III.15})$$

نمذجة هذه المصطلحات ضرورية لإغلاق المعادلات، يتم الحصول على نمذجة المصطلح الأول باستخدام فرضية (Boussinesq) مباشرة (المعادلة (II.4) (II.5)).

$$-r_q \rho_q \overline{u'_{iq} u'_{jq}} \frac{\partial (\overline{U_{jq}})}{\partial x_j} = r_1 \left[\mu_{tq} \left(\frac{\partial \overline{U_{iq}}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{U_{jq}}}{\partial x_i} \right) - \frac{1}{2} k_q \delta_{ij} \right] \frac{\partial (\overline{U_{jq}})}{\partial x_j} \quad (\text{III.16})$$

عبارة اللزوجة المضطرب وفقاً لفرضية (Boussinesq):

$$\mu_{tq} = \rho_q C_\mu \frac{k_q^2}{\varepsilon_q} \quad (\text{III.17})$$

ويمكن إعادة صياغة بشكل ثاني:

$$-\frac{1}{2} \rho_q \left[\frac{\partial (\overline{u'_{iq} u'_{iq} u'_{jq}})}{\partial x_j} \right] = -\rho_q \left[\frac{\partial (\overline{k'_q u'_{jq}})}{\partial x_j} \right] \quad (\text{III.18})$$

$$k'_q = \frac{1}{2} u'_{iq} u'_{iq} \quad \text{بحيث:}$$

ترتبط k'_q بقيمتها المتوسطة k_q عن طريق التعبير عن مصطلح الانتشار بمصطلح التدرج النسبي

$$-\rho_q (\overline{k'_q u'_{jq}}) = \frac{\mu_{tq}}{\sigma_k} \frac{\partial k_q}{\partial x_j} \quad (\text{III.19})$$

وفي الأخير، يمكن ملاحظة أن تأثيرات المصطلح الثالث مماثلة لتأثيرات المصطلح الثاني، الذي يشجع على وضع نماذج شاملة لتأثيراتها عن طريق:

$$-r_q \rho_q \left[\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{1}{2} (\overline{u'_{iq} u'_{iq} u'_{jq}}) + u'_{iq} \right) \right] = r_q \left[\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_{tq}}{\sigma_k} \frac{\partial k_q}{\partial x_j} \right) \right] \quad (\text{III.20})$$

الفصل الثالث (III): النمذجة العددية Numerical modelling

إذا لدينا أخيراً معادلة نموذجية لـ k_q من الصيغة:

$$r_q \rho_q \left[\overline{U_{Jq}} \frac{\partial k_q}{\partial x_j} \right] = r_q \left[\mu_{tq} \left(\frac{\partial \overline{U_{iq}}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{U_{jq}}}{\partial x_i} \right) \right] \frac{\partial (\overline{U_{Jq}})}{\partial x_j} - r_q \left[\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_{tq}}{\sigma_k} \frac{\partial k_q}{\partial x_j} \right) \right] - r_q \rho_q \varepsilon_q \quad (\text{III.21})$$

✚ معادلة تبديد الطاقة المضطربة (ε):

معادلة ε يتم الحصول عليه عن طريق أخذ دوران معادلات تقلبات السرعة ثم القيام بالمتوسط الإجمالي، إن اشتقاق هذه المعادلة سهل نسبياً، ولكن الحسابات تظل مملة و طويلة، لذا فإننا نعطي النتيجة مباشرة مع $r = 1, q = 1$.

$$-\frac{\partial}{\partial x_j} (r_q \rho_q \overline{U_{Jq}} \varepsilon_q) = r_q C_{\varepsilon 1} \left[\mu_{tq} \left(\frac{\partial \overline{U_{iq}}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{U_{jq}}}{\partial x_i} \right) \right] \frac{\partial (\overline{U_{Jq}})}{\partial x_j} \frac{\varepsilon_q}{k_q} + r_q \rho_q C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon_q^2}{k_1} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[r_q \left(\frac{\mu_{tq}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon_q}{\partial x_j} \right) \right] \quad (\text{III.22})$$

قيم الثوابت الخمسة ($C_\mu, C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}, \sigma_\varepsilon, \sigma_k$) يتم تحديدها بالرجوع إلى البيانات التجريبية الخاصة بالتدفقات الفردية (الاضطرابات الخالية من التناقص، وتدفق القنوات وما إلى ذلك)، ويتم الحصول على هذه القيم إما مباشرة أو عن طريق إجراء تحسين يستند إلى مقارنات الحسابات من النموذج التجريبي. [22]

القيم الأكثر شيوعاً هي: $C_\mu = 0.09, C_{\varepsilon 1} = 1.44, C_{\varepsilon 2} = 1.92, \sigma_k = 1.3, \sigma_\varepsilon = 1.3$

III-6- حلول المعادلات (resolutions of the equations):

لقد اعتمدنا، لحل نظام المعادلات المترابط، والذي يحكم التدفق في دافعة سفرة لمضخة الطرد المركزي، والذي يفرض بالشروط الحدية المعتمدة، وبأسلوب الحجم المحدود (حجم التحكم)، الذي يستند إلى نهج رقمي يعرف بالطريقة المترابطة، تحل في هذه الأخيرة معادلات الاستمرارية، ومقدار الحركة، والطاقة، والنقل في آن واحد، ومن ثم يتم حل المعادلات الأخرى ذات الأحجام المختلفة بالتتابع.

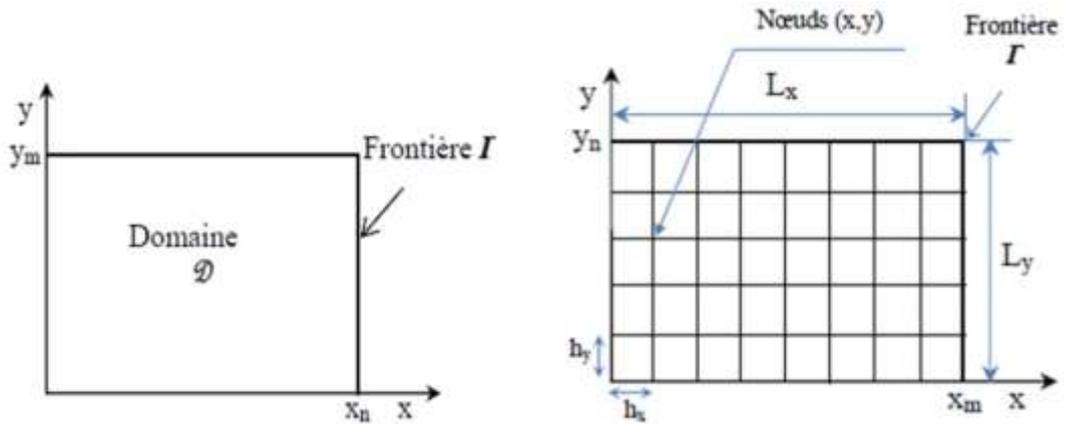
الفصل الثالث (III): النمذجة العددية Numerical modelling

إن عدم خطية المعادلات الحاكمة يفرض تكرارات متعددة للحصول على تقارب الحسابات. يتكون كل تكرار من خطوات الحساب المدرجة أدناه:

1. تهيئة الخصائص المادية.
2. يتم حل معادلات الاستمرارية ومقدار الحركة والطاقة في الوقت نفسه.
3. حل معادلات النقل.
4. التحقق من تقارب الحلول. [23]

III-6-1 تقسيم و تقدير الحدود (Discretization) والشروط الحدية:

تقسيم و تقدير الحدود (Discretization) هي عملية لتحويل التصميم الهندسي (geometry) الأصلي للجهاز إلى مجموعة من العقد (الشبكة)، مع حتمية احتفاظ الجهاز بالشكل الابتدائي (الأصلي)، ويتم ذلك من خلال تتبع الخطوط المتوازية لمحاور x و y فهي تقاطع تعطي العقد الخاصة بالشبكة. [24]



الشكل (III-3): التصميم الهندسي الأصلي.

الشكل (III-2): التصميم الهندسي التقديري.

مبدأ التقسيم إلى أحجام محدودة يعتمد على تحويل المعادلات الحاكمة لطبيعة السائل أو الجسم إلى عبارات جبرية سيتم حلها رقمياً.

الفصل الثالث(III): النمذجة العددية Numerical modelling

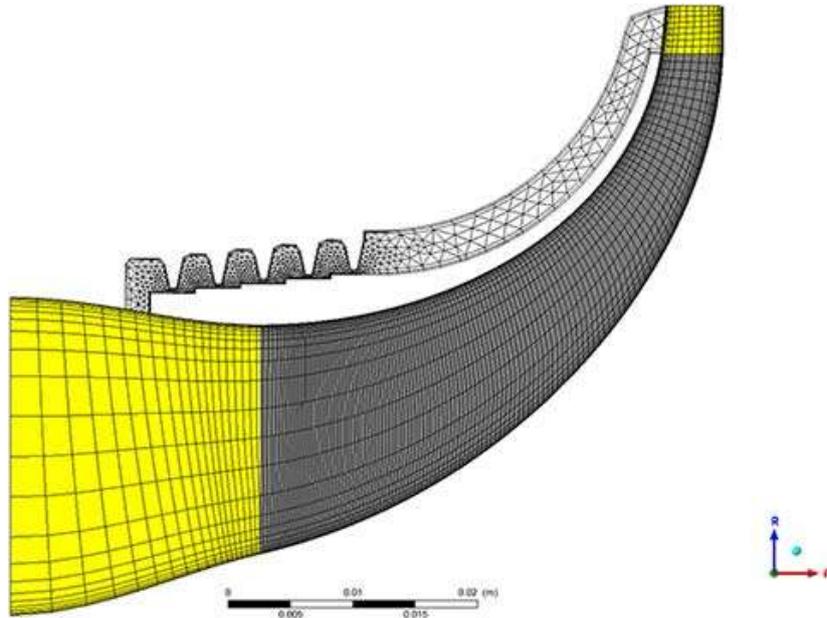
III-6-1-2-التشبيك (Mesh sizes):

تتكون عملية التشبيك أو تحجيم الشبكة (Mesh sizes) من تقدير و تقسيم مجالات الحساب، في الشبكات الطولية والعرضية التي يمثل تقاطعها عقد، يسمى الحساب الخاص بعنصر وحدة التخزين المعروف حول كل عقدة بخلية التحكم، ونتيجة لذلك، يتم تخزين كميات القياس في العقد، بينما يتم تخزين أحجام المتجهات في الخلايا.

III-6-1-3-اختيار الشبكة (Choice of mesh grid):

تتعلق دقة الشبكة بشكل خاص بالمناطق ذات التدرج العالي، وبالتالي فإن الحل الجيد يجعل من الممكن وصف الظواهر الفيزيائية الموجودة في هذه المناطق على نحو أفضل مثل موجات الصدمة أو ظواهر طبقة الحدود، في العديد من الحالات تؤثر دقة الشبكة المنخفضة في المناطق الحرجة من مجال الحوسبة بشكل خطير على الحل وتغير بشكل كبير خصائص التدفق المحسوبة.

في المناطق ذات التدرجات العالية مثل نقاط قيد الدراسة للطبقة الحدية، يجب تحسين الشبكة بشكل كافٍ لتقليل التغيرات في متغيرات التدفق من خلية إلى أخرى، ومن المؤسف أنه من الصعب و إن لم يكن من المستحيل، في بعض الحالات تحديد هذه المجالات مسبقاً، مع عدم نسيان قيد الزمن الحسابي (the computational time constraint) ومصادر التقنية للمعلومات التي تفرضها دقة الشبكة العالية، و تزداد دقة الحسابات الرقمية للتدفقات ثلاثية الأبعاد (3D) باستخدام شبكة دقيقة جداً، كما يظهر في المثال التالي الشبكة المصممة بـ (TurboGrid): [25]



الشكل(III-4): الشبكة أو التشبيك بـ " TurboGrid "

الفصل الثالث (III): النمذجة العددية Numerical modelling

III-6-1-3-1-6-3-1-6-III الشروط الحدية (boundary conditions):

وفقاً للمشكلة المادية الفيزيائية الذي تتم معالجته، فإن اختلاف الشروط الحدية وظروف الحدود ومدى توافقها مع النماذج الرقمية المرتبطة تأثير مباشر على تقارب وواقعية نتائج المحاكاة العددية.

III-6-1-3-1-6-III شروط الضغط عند المدخل (Inlet pressure conditions):

يتم استخدام هذا النوع من الشروط الحدية للضغط عند المدخل على وحدة التحكم (control volume) المطلوب دراستها، وهذا الشرط صالح في كل من التدفق القابل للضغط وغير القابل للضغط، ويمكن استخدامه عندما يكون ضغط المدخل معروفاً ويتم البحث عن معدل التدفق المقابل له، ويتم التعبير عن الضغط الإجمالي المفروض، في التدفق غير القابل للضغط، عن طريق العلاقة التالية:

$$p_t = p_s + \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (III.23)$$

III-6-1-3-1-6-III شروط السرعة عند المدخل (Inlet velocity conditions):

يستخدم الشرط الحدي لفرض سرعة معينة عند المدخل على مستوى حجم التحكم، وبمجرد ضبط السرعة وتثبيتها، يتم الرجوع إلى الكميات الأخرى للتدفق، ينطبق الشرط الحدي هذا بشكل عام في التدفقات المفروضة أنها غير القابلة للانضغاط.

III-6-1-3-1-6-III شروط تدفق الكتلة عند المدخل (Inlet mass flow conditions):

بغض النظر لحالة الضغط عند المدخل، يكون الشرط الحدي في هذه الحالة لمعدل التدفق عند المدخل مضبوط بينما يختلف ضغط التدفق الإجمالي، في العديد من التطبيقات تؤدي حالة الضغط في المدخل إلى جعل تقارب الحسابات أبطأ، ومن المستحسن في هذه الحالات تطبيق شروط تدفق الكتلة في المدخل، بحيث يفرض معدل التدفق بإعطائه قيمة لأن كثافة السائل ثابتة.

III-6-1-3-1-6-III شروط الضغط عند المخرج (Outlet pressure conditions):

السماح بفرض قيمة للضغط ثابتة عند المخرج في حجم التحكم، لا يمكن فرض قيمة ثابتة للضغط إلا عندما يكون التدفق دون سرعة الصوت (subsonic)، وتصبح عملية التقارب أسرع عندما تقترب قيمة الضغط الناتج المفروض من الواقع.

الفصل الثالث(III): النمذجة العددية Numerical modelling

III-6-1-3-5- شروط السطوح الخارجية أو الجدار (Conditions of the walls):

تسمح الشروط هذه بتحديد الجدران على مستوى حجم التحكم، بحيث يمكن إعلان أن الجدران ثابتة أو متحركة بحركة نسبية، مثل الجزء الدوار (Rotor) في الأجهزة ذات الدوران الديناميكي. [26]

الفصل الرابع

(VI)

النتائج و المناقشة

Results and discussions

Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة

VI-1-تمهيد:

تطرقنا في الفصول السابقة إلى معادلات نافي ستوكس و بعض الخصائص المهمة للمضخة قيد الدراسة والى طرق حل المعادلات الخاصة بالظاهرة أو الإشكالية، والتي تمكننا من إجراء محاكاة لها في هذا الفصل، الذي يهدف في الأساس إلى تصميم وتقييم أداء مضخة الطرد المركزي وتوفير توزيع مجالات الضغط والسرعة على أسطح الدافعة (impeller)، ولكن هذا غير ممكن إن لم يكن لدينا نموذج هندسي للمضخة، لذا فقد اتبعنا نهجاً غير مباشر لتصميم نموذجنا الهندسي، حيث تم صميم نموذج هندسي للدافعة بالمقاييس المطلوبة.

و بعد إجراء المحاكاة العددية للتدفق الداخلي لسائل لزج غير قابل للضغط عبر التصميم الهندسي، مع اعتبار أن التدفق دائماً (permanent) و مضطرباً (turbulent).

VI-2-التعريف ببرنامج المحاكاة (ANSYS):

ANSYS هو اختصار باللغة الانجليزية للعبارة (ANalysis SYStem)، هي عبارة عن مبرمجة مبنية على طريقة العناصر المنتهية، والتي اخترعها (Jon Swanson).

ظهر برنامج ANSYS من شركة (ANSYS Inc.) في البداية كبرنامج متخصص في حل مسائل طريقة العناصر المنتهية (Finite element Method Problem) والتطبيقات الهندسية في ديناميكا الموائع المحوسبة وهو برنامج يستخدم في محاكاة تلك المسائل واستقرار نتائجها باستخدام الحاسب وقد اكتسبت الشركة المصنعة شهرتها الواسعة بعد إنتاجها برنامجي (ANSYS Mechanical) وبرنامج (ANSYS Metaphysics) وهي برامج تحوي علي أدوات تحليلية لعمليات ما قبل المعالجة للمسائل الهندسية الميكانيكية (كعمليات التصميم والرسم وبناء الهياكل الشبكية) وحل هذه المسائل ومعالجتها مرة أخرى لإخراج النتائج بالشكل الأكثر تناسباً مع الواقع العملي وكل ذلك بواجهات تخاطبيه مع المستخدم (GUI) سهلة التعامل.

أكثر ما تستخدم أدوات برامج (ANSYS) في تحليلها هو التحليل العددي لمسائل العناصر المنتهية التي يصعب حلها بالطرق التقليدية وذلك سواء للمسائل للتحليل الديناميكي أو إستاتيكي أو الخطي أو الغير خطي ومسائل انتقال الحرارة وديناميكية السوائل وحوسبتها وكذلك مسائل التطبيقات الكهروضوئية أو الكهرومغناطيسية.

Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة

يمكن للكثير من الاختصاصات الهندسية الاستفادة من إمكانيات هذه البرمجيات مثل الهندسة الحيوية والهندسة الميكانيكية والهندسة الكهربائية وحتى الفيزياء والكيمياء.

حصلت شركة ANSYS على بعض النصوص البرمجية وضمت إليها بعض الشركات التي طورت من برامجها كإضافتها للنص البرمجي (CFD) .

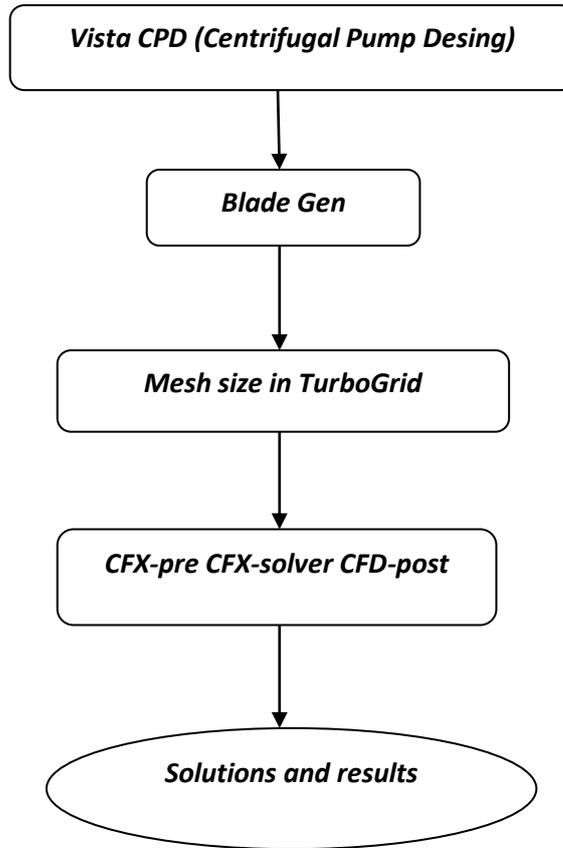
وفي عام 2003 تم تطوير قطاع ديناميكا الموائع المحوسبة وتطبيقاتها الهندسية وفي عام 2008 طورت شركة ANSYS منتجات شركة An Soft وهي شركة الرائدة في تطوير برمجيات التصميم الإلكتروني عالية الأداء وأضافت إليها أدوات تدعم تطبيقات نظم الاتصالات والشبكات, بناء الدوائر المتكاملة والنظم الإلكترونية وميكانيكية.

لقد منح هذا التطور شركة ANSYS وبرامجها لأن تحتل مكانة ملحوظة في قطاع الصناعة وقريبا في القطاع الأكاديمي لما تحقق من ربط ديناميكي بين النظم الإلكترونية والنظم الميكانيكية.

أيضا يدخل هذا البرنامج في التطبيقات الطبية حيث يستخدم في اختبار تصميم المنتجات الطبية مثل الدعائم التي تستخدم لتبطين جدار الشريان في حال حدوث توسع وفقدان خاصية التمدد والرجوع إلى الحالة الطبيعية وأيضا يستخدم في تحليل مشاكل ضيق الشرايين والتي تؤدي إلى تجلط الدم وانسداد في شرايين الدماغ مؤديا إلى السكتة الدماغية، يوفر هذا البرنامج إمكانية تعريف الجزء المراد إجراء الاختبار عليه وذلك بإدراج الإحداثيات والأبعاد سواء كانت ثنائية أم ثلاثية الأبعاد, وأيضا خصائص الدم من كثافة ولزوجة وسرعة جريان الدم والضغط, ومن ثم يتم عمل تحليل للنتائج والوصول في الحلول المناسبة ليتم تطبيقها عمليا وتفادي التأثيرات الجانبية [27].

VI-3- مراحل التصميم (stage of the design):

سنحاول تلخيص الخطوات التي قمنا بها للحصول على التصميم الخاص بنا، بحث تم التركيز على جميع مراحل العملية التي تبدأ من مرحلة أحادي البعد (1D) وصولاً إلى مرحلة ثلاثي البعد (3D) للتدفق داخل المضخة أو داخل الدافعة، التي تمكننا من فهم الظواهر التي تحدث داخل دافعة مضخة و يكون ذلك بوصف دقيق للظاهرة مع إعطاء نتائج الكفاءة و المردود و التغيير في الضغوط و غيرها للمضخة، لذا وضعنا مخطط مبسط لطريقة سير العملية:



الشكل (VI-1): مخطط لمراحل انجاز العمل.

VI-3-1- الخطوة الأولى: Vista CPD (Centrifugal Pump Desing)

يظل التصميم الأولي خطوة أساسية في تصميم أي شكل من أشكال الماكينات الدوارة، هذه الخطوة الأولى تعتمد على تصميم شفرة الدافعة لمضخة الطرد المركزي الخاصة بنا على أساس الطريقة أحادية البعد (1D) المعروفة باسم طريقة خط الوسط (middle line)، و باستخدام مثلثات السرعة ومعادلة Euler، يمكن إجراء تقدير أولي لسلوك المضخة (الارتفاع والطاقة) بالفعل في هذه المرحلة. [28]

Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة

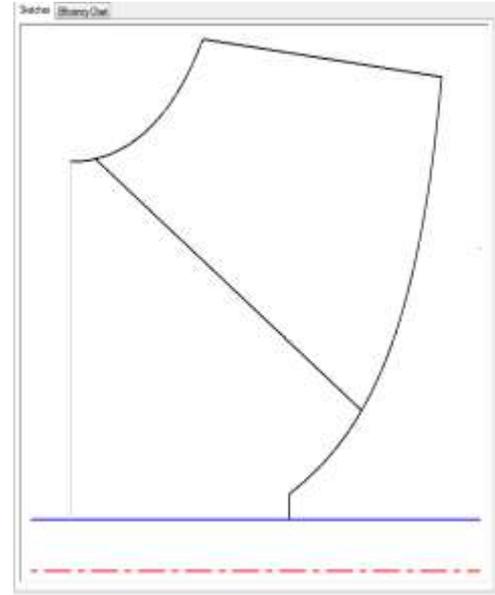
في المقام الأول وكأهم خطوة، يتم تلخيص المعايير الخاصة بتشغيل المضخة في جدول، والذي يمكن أن يلخص مهمة المضخة، ويرد ملخص لهذه المعايير في الجدول أدناه:

المعايير (parameters)	قيمة المعيار (parameter value)	الوحدة (unit)
السرعة الزاوية	1450	[tr/min]
التدفق الحجمي	237	[m ³ /h]
الكتلة الحجمية للسائل	1100	[kg/m ³]
الارتفاع	10	[m]
زاوية المدخل	90°	[deg°]
عدد الشفرات	02	/

الجدول (1-VI): المعلومات الأولية لتصميم المضخة.

بالإضافة إلى ترتيبات أخرى مثل الأداء الهيدروليكي، والفولومترى، والميكانيكي، وبالتالي فإن القيود والترتيبات الخاصة بتصميم الشفرات مثل الزوايا المختلفة للتصميم.

The screenshot shows the 'Operating conditions' tab of a software interface. It includes sections for 'Units' (SI selected), 'Duty' (Rotational speed: 1450 rpm, Volume flow rate: 237 m³/hr, Density: 1100 kg/m³, Head rise: 10 m, Inlet flow angle: 90 deg, Merid velocity ratio: 1.1), and 'Efficiencies' (Automatic dropdown, Hydraulic: 0.874, Volumetric: 0.97, Mechanical: 0.948, Pump: 0.804).



الشكل (3-VI): المعطيات الأولية على Vista CPD .

الشكل (2-VI): التصميم الأولي أحادي البعد.

Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة

يحتوي رمز الحساب هذا على الخوارزميات والوظائف التي تمكن من حساب و نمذجة التصميم، بما في ذلك كل نظريات مضخة الطرد المركزي، و على اثر ذلك سيتم تقديم بعض النتائج التي تم الحصول عليها بواسطة Vista CPD في الجدول التالي:

D1 (mm)	Cu1 (m/s)	Cm1(m/s)	U1 (m/s)	β 1 (deg)
112.9	0	3.26	8.57	20.81

الجدول (2-VI): المعطيات عند المدخل.

D2 (mm)	B2 (mm)	β 2 (deg)	W2 (m/s)	Cu2 (m/s)	C2 (m/s)
202.2	63.6	13.86	8.25	7.34	7.60

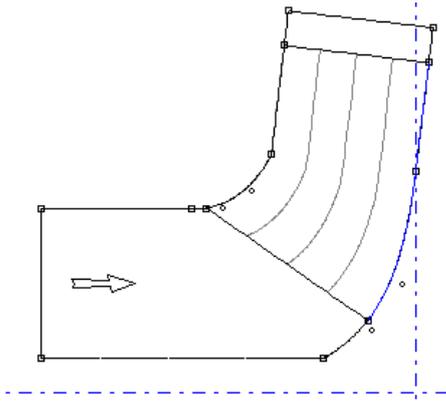
الجدول (3-VI): المعطيات عند المخرج.

VI-3-2- الخطوة الثانية: استخدام (BladeGen)

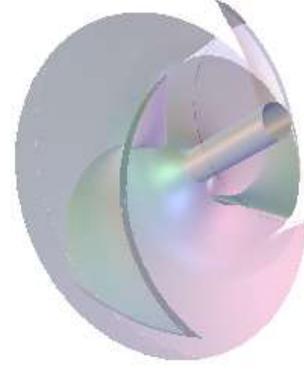
توفر الأداة BladeGen للمصمم نظامًا كاملاً ومبسّطاً للرسم وتحليل أداء قطع شفرة المضخة المصممة، تم تصميم BladeGen لتسهيل مهام توليد الهندسة من خلال تزويد المصمم بمجموعة كبيرة من الخيارات لجميع التكوينات: المحورية أو القطرية أو المختلطة.

تسمح لنا خطوة التصميم هذه بالانتقال من الهندسة ثنائية الأبعاد في Vista CPD إلى بنية ثلاثية الأبعاد في Blade Gen، عن طريق نقل بيانات هندسة الشفرة الأولية من Vista CPD إلى Blade Gen، وقاعدة العمل الجديدة هذه، هي حل كامل يتضمن وظائف و وضع النماذج المصممة خصيصاً لتلبية احتياجات الشركات المصنعة للمضخة، وتتيح لنا التحكم المطلق في زاوية عجلة أو دافعة المضخة.

Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة



الشكل (5-VI): Meridional Surface

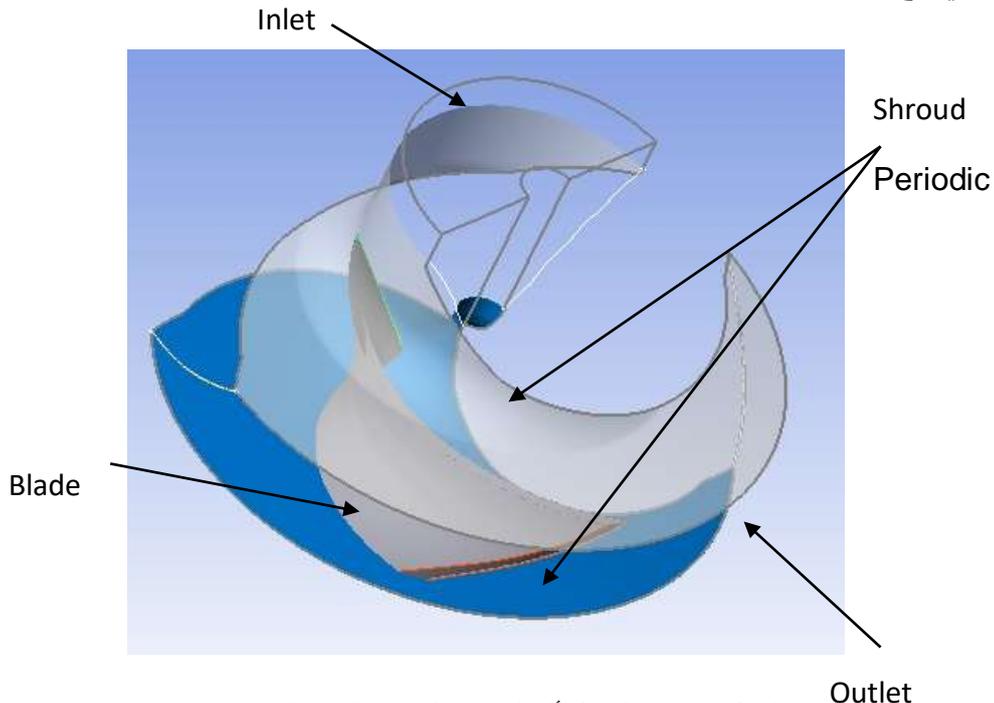


الشكل (4-VI): التصميم ثلاثي الأبعاد على BladeGen.

Mesh size in Turbo Grid: الخطوة الثالثة: 3-3-VI

يعتبر Turbo Grid أداة لتوليد النسيج الشبكي Meshing وهو عنصر هام في مجموعة "Ansys"، هو برمجية متخصصة في الإنشاء النسيج الشبكي في turbomachinery باستخدام نماذج مختلفة موجودة مسبقاً، يمكنه إنشاء شبكة هيكلية عالية الجودة وتصديرها بسرعة، وتكون جاهزة للمحاكاة.

يؤدي الاختيار الجيد للشبكة إلى حساسية الحل أي حل أكثر دقة لحل المعادلات الديناميكية لنافي ستوكس، وكذلك معادلة الحفاظ على الكتلة، يسمح لنا Turbo Grid بتوليد وإنشاء مجال معلوماتي، في اتصال تلقائي مع BladeGen عن طريق نقل وإرسال البيانات المهندسة



الشكل (6-VI): المجال المعلوماتي المعطى لـ TurboGrid.

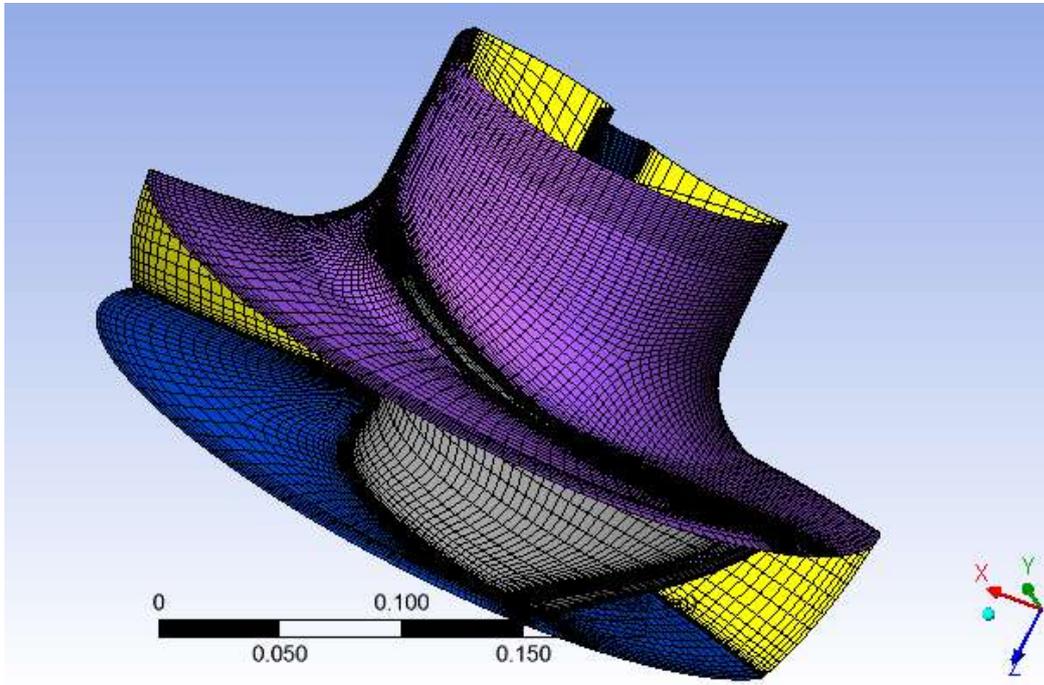
Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة

عدد العناصر	عدد العقد
234784	253020

الجدول (4-VI): بيانات الشبكة.

يتم اختيار طريقة الهيكلة للشبكة في هذا النمط وفقا للمؤشرات التي تم ذكر عدد شبكاتها في الجدول لإنشاء مجال مرور السائل، تظهر تفاصيل الشبكة الخاصة بالأجزاء المختلفة لعجلة شفرة مضخة الطرد المركزي في الشكل الموضح بالألوان المختلفة التالية:

- ✓ اللون الأصفر شبكة السطحين الجانبيين Lowperiodic and Highperiodic.
- ✓ اللون الرمادي شبكة الشفرة Blade.
- ✓ اللون الأزرق شبكة السطح السفلي Hub.
- ✓ اللون البنفسجي شبكة السطح العلوي Shoud.



الشكل (7-VI): دافعة المضخة بعد عملية التشبيك Meshing.

Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة

VI-3-4- الخطوة الرابعة: باستخدام Ansys CFX

لقد منحتنا التطورات الأخيرة في محاكاة التدفق العددي خوارزميات قوية للغاية لتحليل التدفقات ثلاثية الأبعاد 3D، اللزجة والاضطراب وعدم الاستقرار، التي تجلب إلى المطور معلومات دقيقة جداً، والتي تقدم المهندسين اختياراً واسعاً من الاختبارات على النماذج الهندسية المعروضة.

في ما يلي، سنعرض لكم الخطوات التي تم اتخاذها في هذه المحاكاة، وينقسم هذا الجزء من العمل إلى ثلاثة أقسام: الأول على CFD-Pre، والثاني على CFD-solver، والثالث على CFD-POST.

VI-3-4-1- أولاً (CFD-Pre):

لإنجاز مهمة تحسين لنموذجنا الهندسي و دافعة مضخة الطرد المركزي الخاصة بنا، من الضروري، أولاً وقبل كل شيء تقديم المعلومات و المعطيات عند المدخل وظروف التشغيل المادية وظروف الحدود، الشروط الحدية و المادية.

لقد اخترنا هذه المضخة كمثال من عدة أنواع من turbomachinery، و معلم إحداثي ديكارتي بحيث يكون Z محور دوران للنموذج، وفي نظام دائم، وسرعة دوران 1450 (tr/min) للمحرك.

في ما يلي، سنعرض في شكل جدول كلا من الشروط المادية للتشغيل والشروط الحدية المطلوبة في المحاكاة، كما يلي:

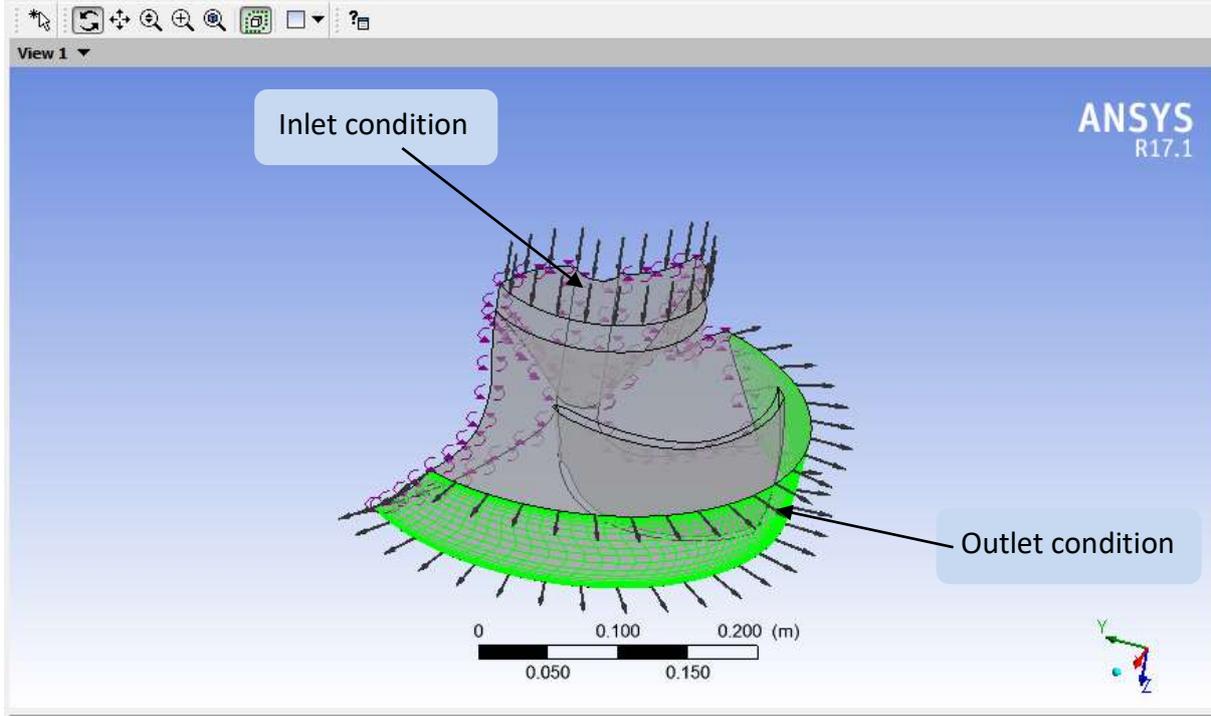
Nature of fluid	Reference pressure	Energy transfer	Turbulent model
Liquid water	0 (atm)	/	SST

الجدول (5-VI): الشروط المادية للتشغيل.

Total pressure at inlet	Output mass flow rate
0 (atm)	77.78 (kg/s)

الجدول (6-VI): الشروط الحدية.

الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة Results and discussions



الشكل (VI-8): الشروط الحدية عند المدخل و المخرج.

ولسبب تناظر نموذج المضخة الهندسية، قمنا بعرض في الشكل العلوي جزءًا من الدافعة التي تتكون من الشفرة والشفنتين الأمامية والخلفية، إن الظروف على الحائط مكتوبة بشكل دقيق وتتضمن الأقسام الدوارة والأقسام الثابتة من دافعة المضخة.

VI-3-4-2-ثانياً (CFX-Solver):

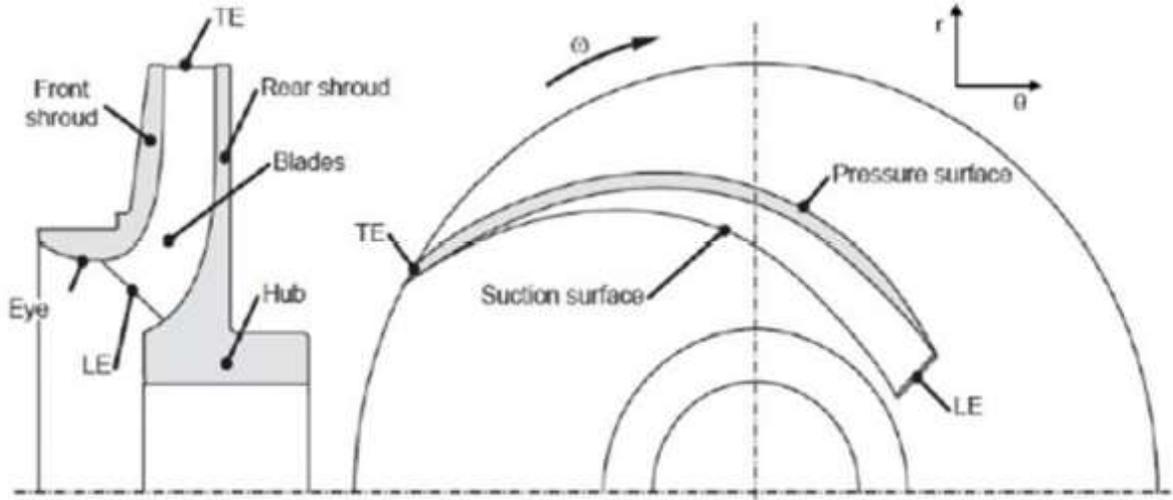
CFX-solver هي خطوة مؤقتة بين CFX-Pre و CFD-post، وهذه المرحلة التي تفصلنا عن النتائج النهائية للمحاكاة تتطلب معظم الموارد المادية والفكرية التي كانت سبقتها، وبعبارة أخرى: المرحلة الأخيرة من التصميم الهيدروليكي أو الديناميكي الهوائي المناسب، يتم إنجازها عادة عن طريق رموز حساب تحل معادلات Navier-Stokes في جميع حقول الحاسوب ذات الصلة، وتوفر هذه الرموز نظرة عامة حول تطور الطبقات الحدودية وأثرها على دقة الحل، ويمكن أيضاً أخذها في الاعتبار بأنها الفاكهة التي تم حصادها في نهاية هذه الخطوة هي معرفة تفصيلية بالتدفق داخل المضخة.

VI-3-4-3-ثالثاً (CFX-Post):

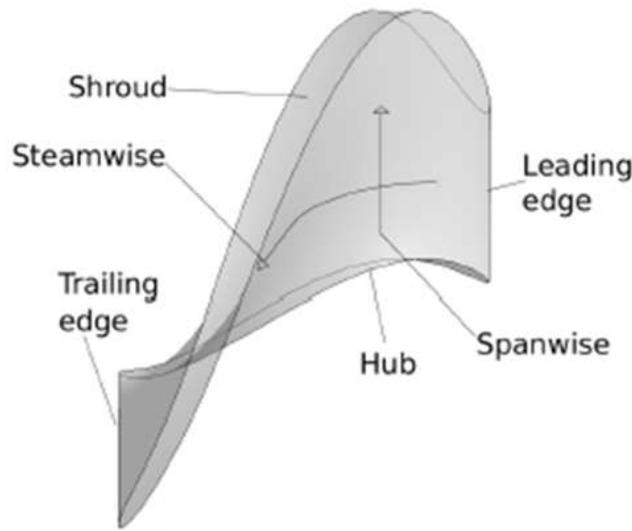
في ما يلي، سنعرض عليكم النتائج التي تم الحصول عليها في المرحلة النهائية من عملية المحاكاة التي قمنا بها، وهي: المنحنيات والأشكال التي تتميز بتنوع في حقول و مجالات الضغط والسرعات في مواقع

Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة

مختلفة لدافعة مضخة الطرد المركزي، و منحني الخصائص المميز لنموذجنا الهندسي الخاص بالمضخة، وغيرها، ولكن قبل البدء في عرض هذه النتائج يجب أن نقدم لكم بعض الأرقام و المصطلحات و العبارات التي ستساعدكم على فهمها بسهولة، و متابعة مناقشاتنا بشكل أفضل.



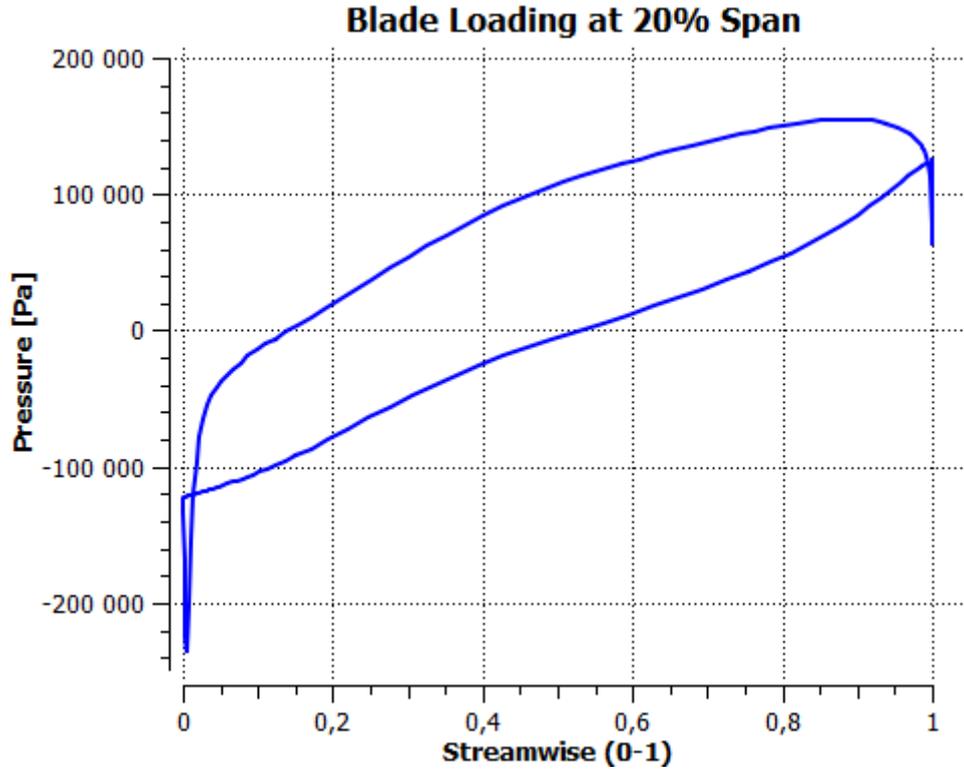
الشكل (9-VI): منظر أمامي من مقطع عرضي لدافعة مضخة.



الشكل (10-VI): مختلف الأبعاد لشفرة دافعة.

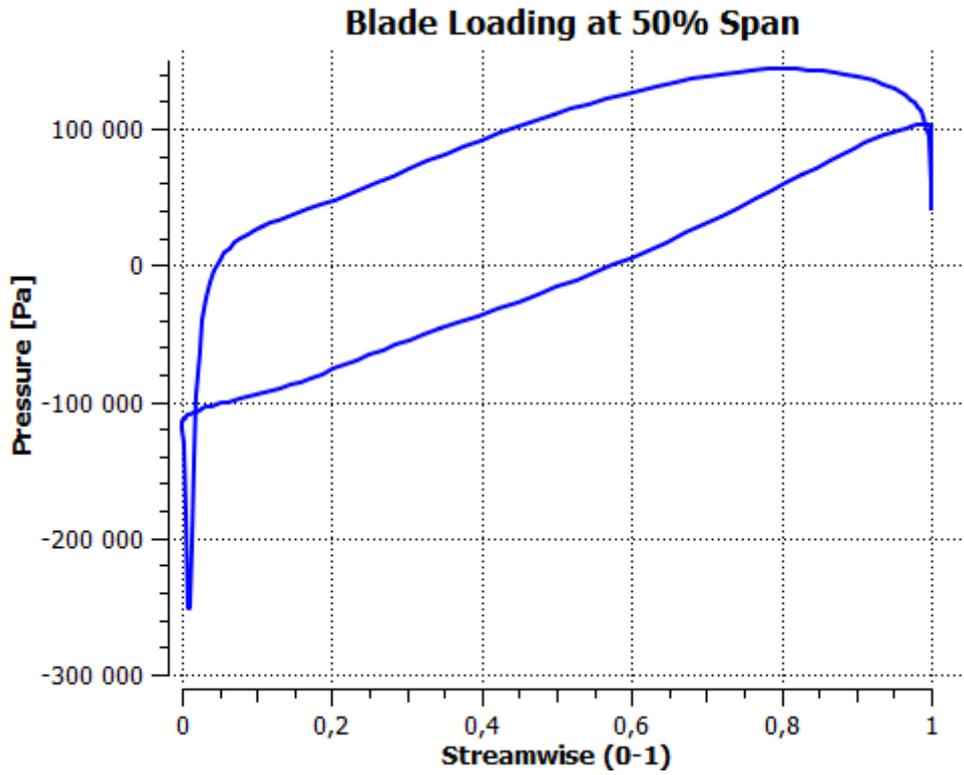
Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة

يوضح الشكل أعلاه شفرة مضخة الطرد المركزي، والتي يتم تعريف خطين عليها: الأول هو خط متوسط يصف طول الشفرة (Streamwise)، ويصف الآخر عرض الشفرة (Spanwise).

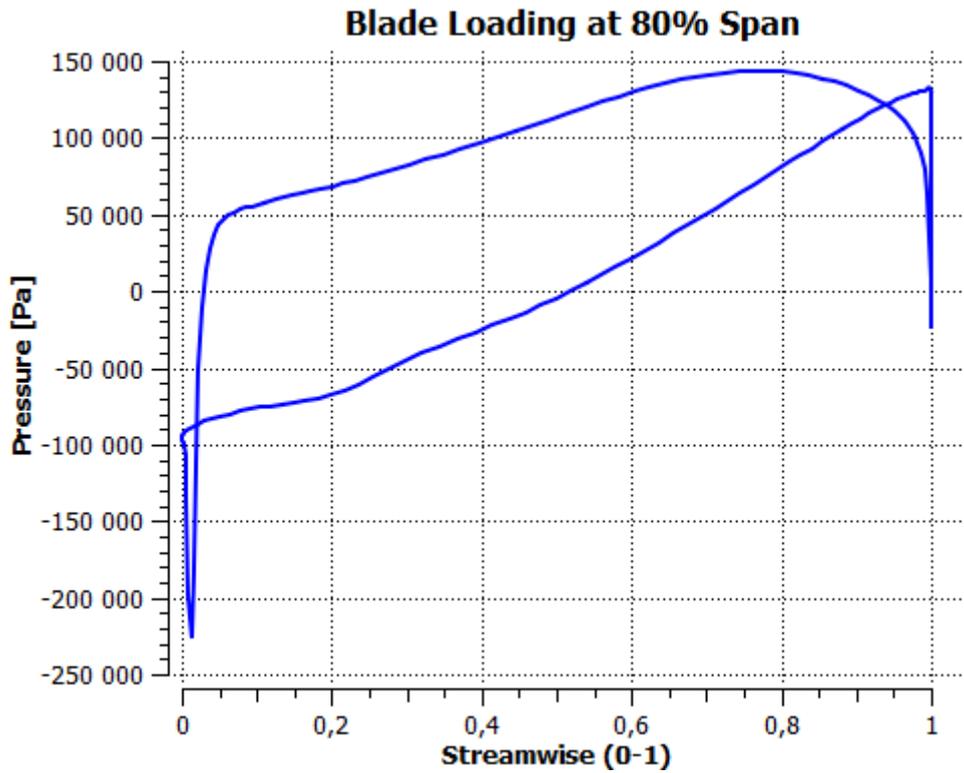


الشكل (VI-11): محيط الضغط على طول الشفرة المأخوذ عند 20% من ارتفاعها.

Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة



الشكل (12-VI): محيط الضغط على طول الشفرة المأخوذ عند 50% من ارتفاعها.



الشكل (13-VI): محيط الضغط على طول الشفرة المأخوذ عند 80% من ارتفاعها.

Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة

توضح الأشكال السابقة خطوط توزيع الضغط حول الشفرة، تم أخذ هذه النتائج في المنحنيات عند ارتفاع الشفرة (50% 80% 20%)، ويعتبر تباين الضغط كدلالة للمسافة البعد بين الشفط aspiration والتفريغ discharge.

في البداية، نلاحظ اتساع الانحرافات الموجودة في هذه المنحنيات أثناء الانتقال من المحور Hub إلى غطاء Casing الدافعة، وهذا يخبرنا بأن توزيع حقول الضغط على ارتفاع ثابت من المنصة ليس متجانساً.

و هذا زاد من أهمية متابعة و دراسة تقدم حقول الضغط، ولهذا قمنا بجمع المعلومات الأساسية المستخلصة من المنحنيات على جدول كما يلي:

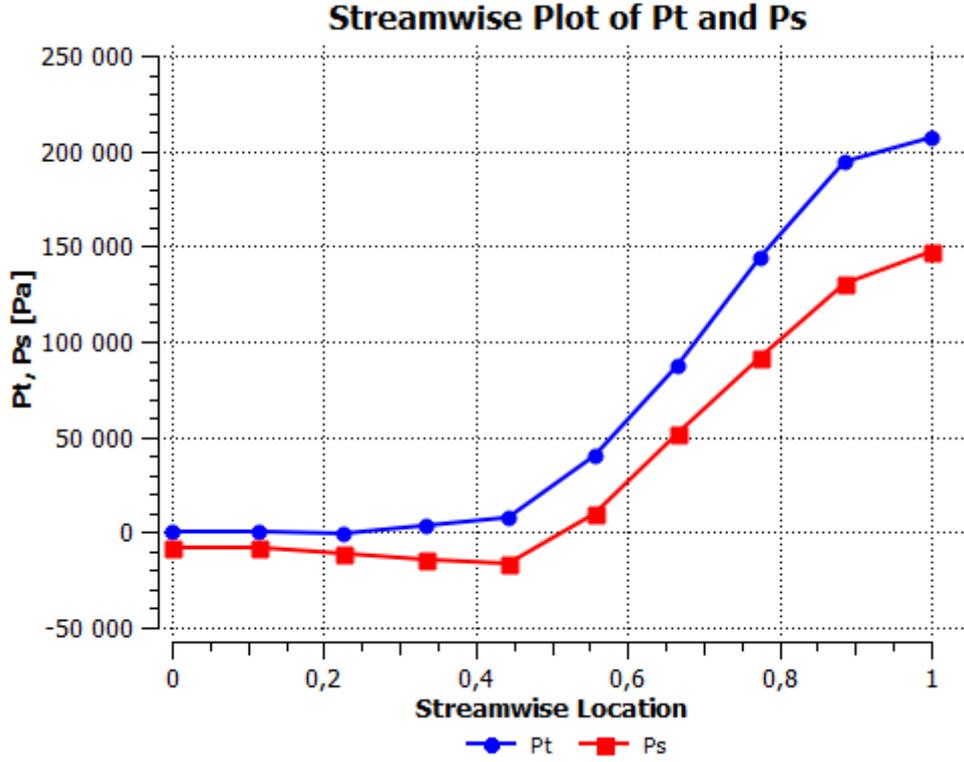
Localisation	Streamwise 20%	Streamwise 50%	Streamwise 80%
On Leading edge	120000 Pa	100000 Pa	130000 Pa
On Trailing edge	-250000 Pa	-250000 Pa	-220000 Pa

الجدول (7-VI): ملخص بيانات المنحنيات.

كلما زاد ارتفاع الشفرة زادت مجالات الضغط اتساع، و بينما يوجد تجانس في هذه المجالات داخل و خارج الشفرة، فإننا نركز أيضا على انخفاض الضغط للسائل عند الحافة الأمامية للشفرة (Leading edge)، هذا الانخفاض ذو قيمة سالبة، بالرغم من أن الضغط المرجعي هو 0 Pa وبالتالي ربما تكون أخطاء في الحساب.

ولدينا الضغط نفسه على كلا الجانبين السفلي والعلوي، ثم على مسافة أبعد من الحافة الأمامية، نلاحظ كلما زادت فجوة الضغط بين الجانبين السفلي والعلوي، كان من الواضح أن هنالك زيادة في الضغط على الجانب السفلي عن الجانب العلوي، ثم عند الحافة الخلفية (Trailing edge).

Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة



الشكل (VI-14): التغير في الضغط الكلي و الثابت على طول الشفرة.

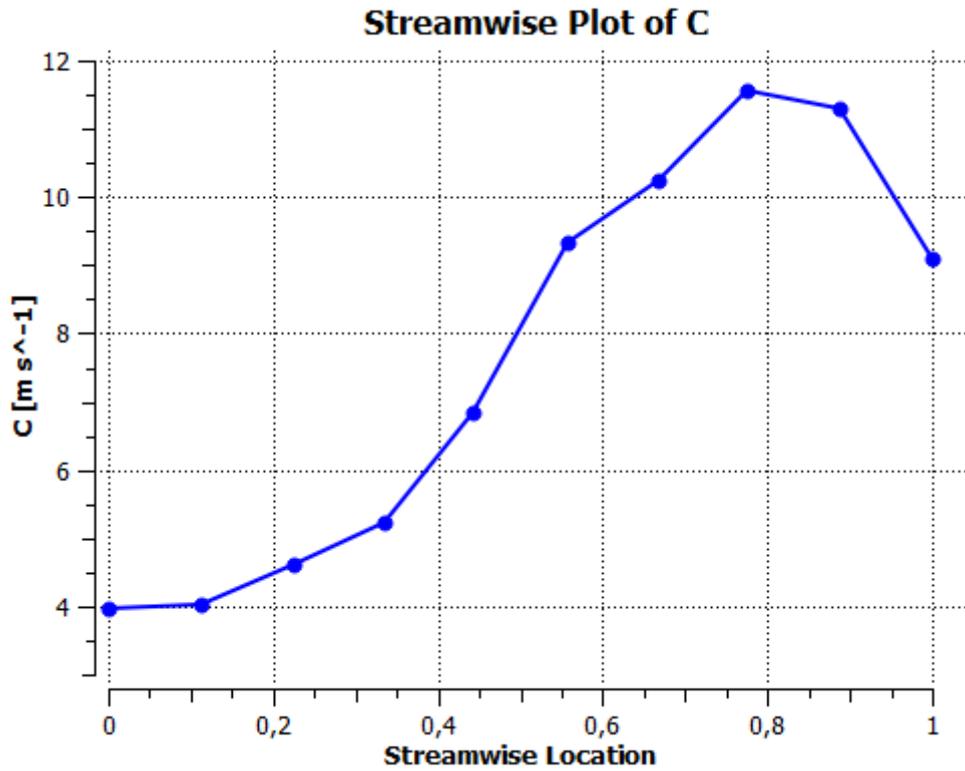
يوفر هذا الشكل معلومات حول الاختلاف في الضغط الإجمالي والثابت، و يتم إجراء هذا القياس بين عمليتي الشفط التفريغ للمضخة، بحيث على المحور الأفقي يتم عرض طول الشفرة من حيث الأبعاد، بينما يعرض المحور العمودي التباينات و التغيرات في قيم الضغط.

عند الملاحظة الأولية يكون الضغط الإجمالي دائماً أكبر من الضغط الثابت، وتجدد الإشارة إلى أن الضغط الإجمالي هو مجموع الضغوطات الثابتة والديناميكية ($P_{tot} = P_{stat} + P_{dyn}$ (Pa)).

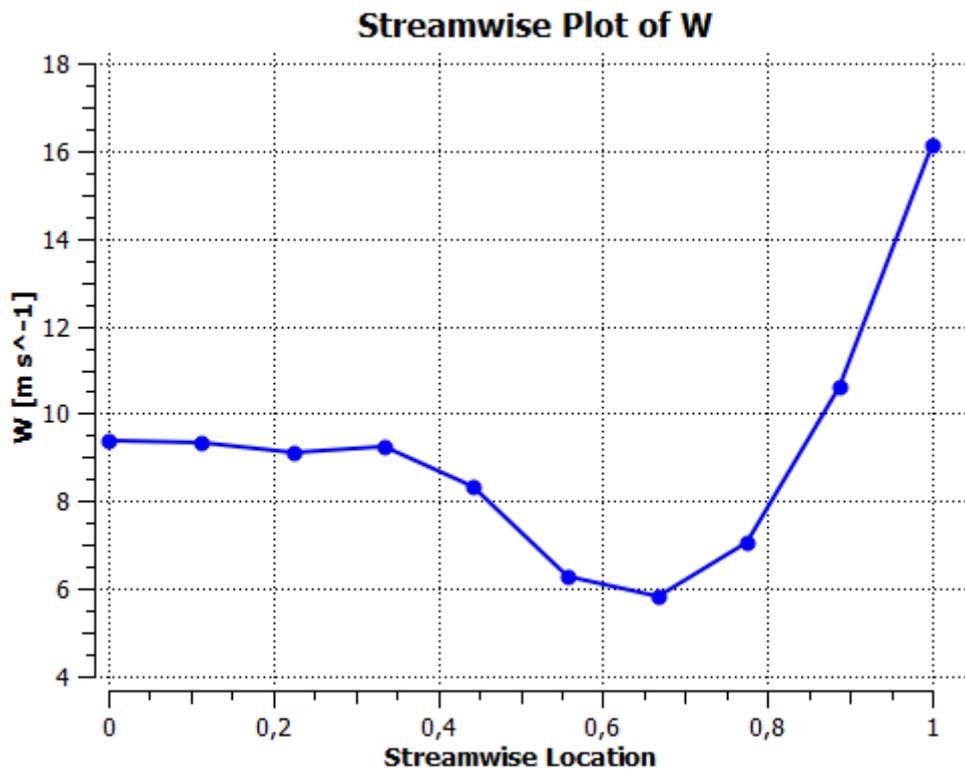
أما عند مدخل الدافعة، نلاحظ أن لهما نفس الضغط عملياً، بينما عند التصريف يكون الفرق بين الضغطين واضحاً جداً، ويرجع ذلك إلى الاختلاف في الضغط الديناميكي، والذي يتم تقديمه من خلال العلاقة التالية:

$$P_{dyn} = \frac{1}{2}\rho U^2 \quad (Pa)$$

بحيث U هي سرعة قيادة دافعة الشفرة أو السرعة المماسية، و بسرعة دوران ثابتة للدافعة، تكون السرعة المماسية U وفقاً لنصف القطر، وبينما نصف القطر عند مخرج المضخة أكبر من نصف قطر المدخل، فإننا نلاحظ هذه الزيادة في الضغط الديناميكي عند الانتقال من المدخل إلى مخرج المضخة.



الشكل (VI-15): التغير في السرعة المطلقة C على طول الشفرة.

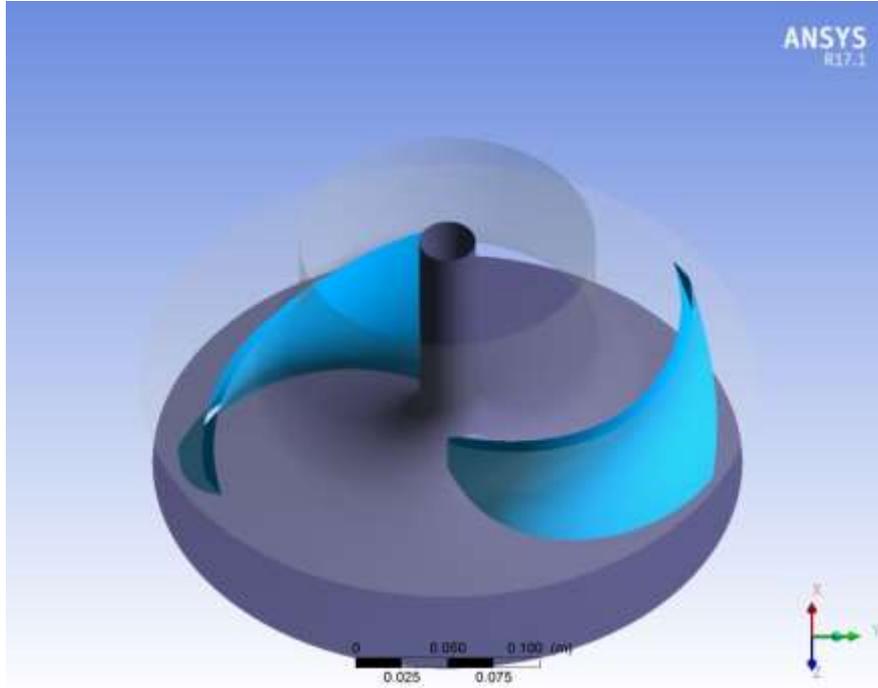


الشكل (VI-16): التغير في السرعة النسبية W على طول الشفرة.

Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة

في الشكل الأول لمنحى السرعة على طول الشفرة نلاحظ تغير في قيمة السرعة المطلقة تتزايد الى أن تصل الى القيمة الحدية الكبرى للسرعة 11.5 m/s عند 77% من طول الشفرة، ثم تتناقص وصولا الى الحافة الخلفية للشفرة الى قيمة 9 m/s، علما أنها سجلت في الحافة الأمامية 4 m/s .

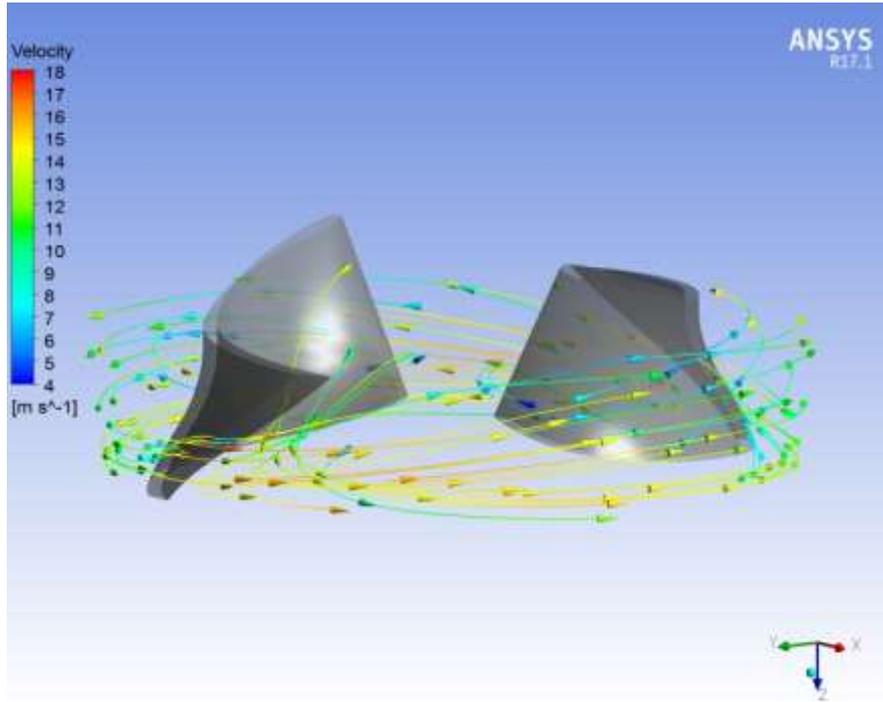
في الشكل الثاني لمنحى السرعة على طول الشفرة نلاحظ ثبات نسبي للسرعة النسبية بين 0% و 35% من طول الشفرة 9.5 m/s، ثم تناقص للسرعة وصولا الى القيمة الحدية الصغرى بسرعة 6 m/s عند 67% من طول الشفرة، ثم تتزايد السرعة النسبية وصولا الى الحافة الخلفية مسجلتا قيمة 16 m/s.



الشكل (VI-17): النموذج الهندسي المتحصل عليه من عملية النمذجة.

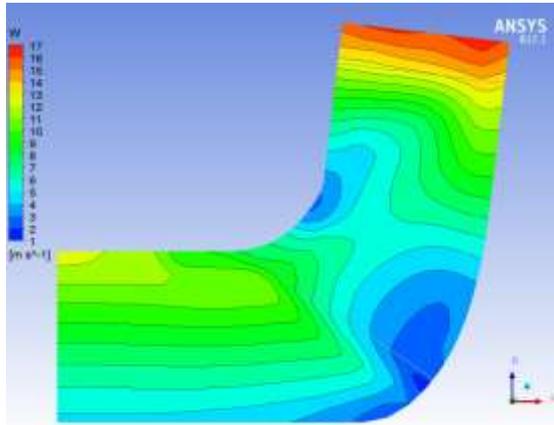
هذا الشكل يمثل نموذجنا الهندسي المتحصل عليه من عملية النمذجة التي قمنا بها، فهو يتكون في الأساس من شفتين (Blade 2) و محور (Hub)، مع اخذ بعين الاعتبار الأبعاد الصحيحة للدافعة (Impeller) وطبيعة المائع المار عبرها.

الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة Results and discussions

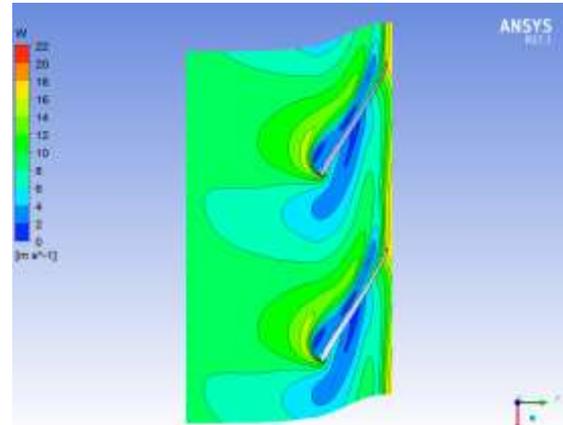


الشكل (VI-18): تيارات سرعة المائع داخل الدافعة.

يوضح هذا الشكل في الأعلى خطوط تيار سرعة الأجسام، أو بمعنى آخر المسار الذي تتبعه جسيمات السوائل، داخل الدافعة بحيث يكون لكل جسيم سرعة مختلفة عن الآخر كما هو موضح في الشكل.

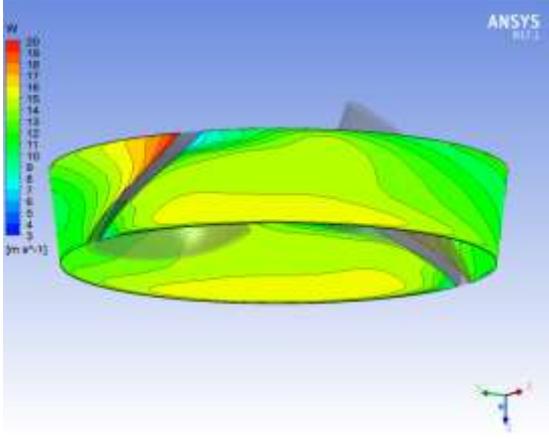


الشكل (VI-20): حقول السرعة النسبية على meridian .

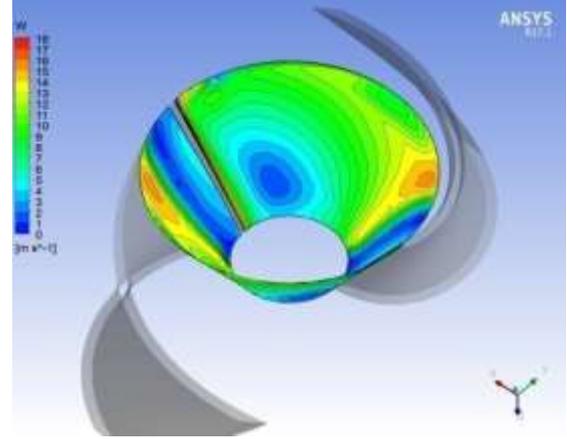


الشكل (VI-19): حقول السرعة النسبية على السطح السفلي للشفرات

الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة Results and discussions



الشكل (VI-22): حقول السرعة النسبية على الحافة الخلفية.

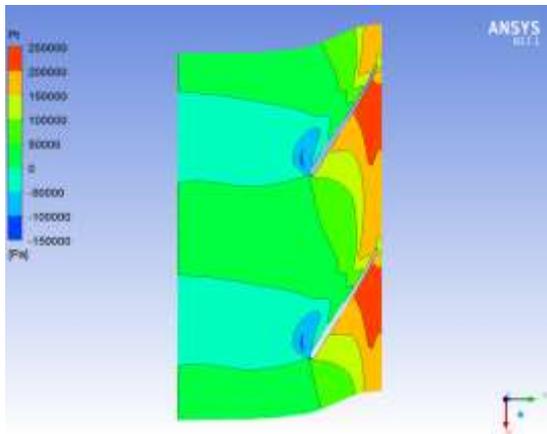


الشكل (VI-21): حقول السرعة النسبية على الحافة الأمامية.

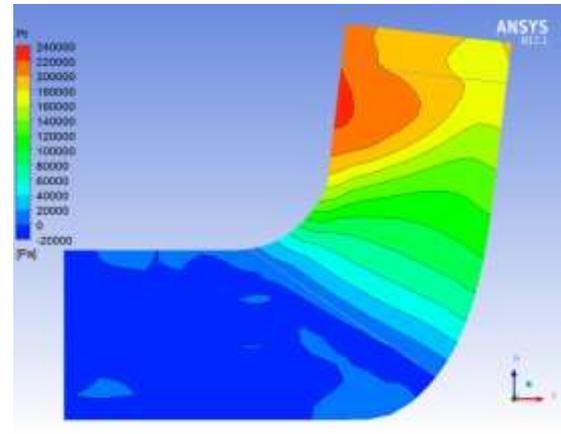
تبين الصور توزيع حقول السرعة النسبية (المماسية لشفرة)، تحت المستوى السفلي للشفرة في الشكل (VI-19)، و في مستوي في الشكل (VI-20).

عند إلقاء النظرة الأولى على الصور التي تمثل توزيع السرعة النسبية على كلا جانبي الشفرة نلاحظ أن الحقول ليست متجانسة، إن المعلومات المتعلقة بتغيير و تفاوت سرعة شفت المضخة أفضل ظهور على سطح meridian، ويعكس ذلك بشكل مثالي الزيادة في السرعة بالانتقال من مرحلة الشفت إلى تفريغ للمضخة، كما أنه من الملحوظ وجود منطقة لتحويل السوائل على المستوى العلوي للشفرة extrados¹، و أثناء التواجد على مستوى الشفرة يظهر الفرق في حقول السرعة بين الجانبين السفلي والعلوي للشفرة بوضوح، وما هي الفجوة الأكبر على السطح العلوي.

أما فيما يتعلق بالشكلين (VI-21 و VI-22)، فهما يصفان توزيع حقول السرعة النسبية المماسية للشفرة على الحافة الأمامية و الحافة الخلفية للشفرة على التوالي.

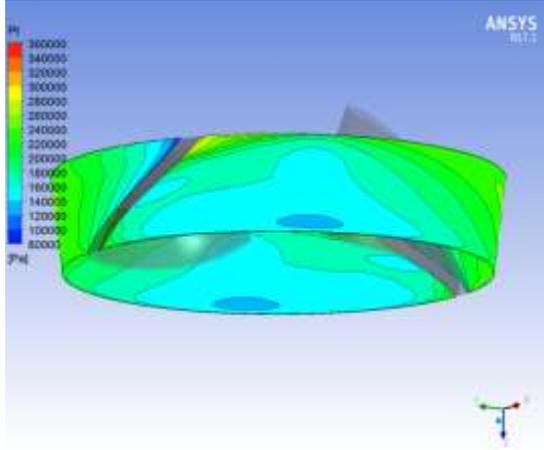


الشكل (VI-24): حقول السرعة النسبية على السطح السفلي للشفرات

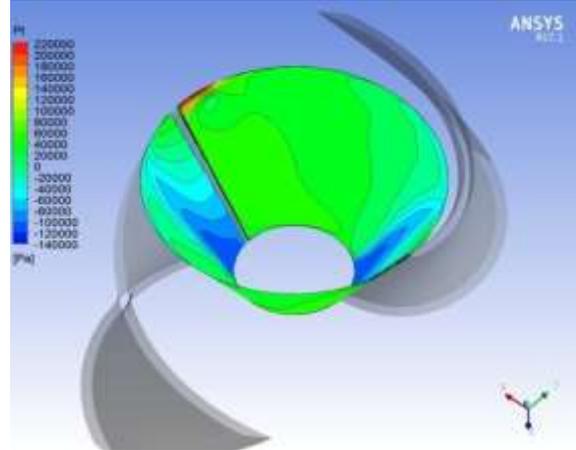


الشكل (VI-23): حقول الضغط الاجمالي على meridian .

الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة Results and discussions

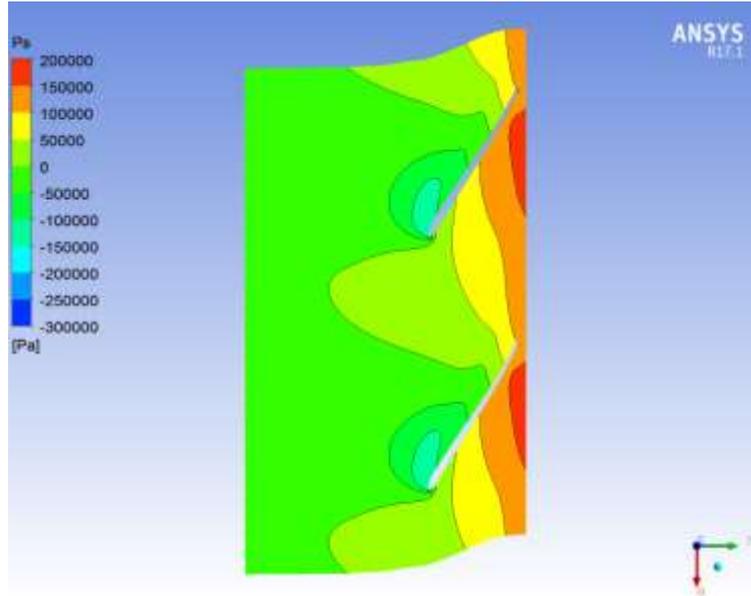


الشكل (VI-26): حقول الضغط الاجمالي على الحافة الخلفية.



الشكل (VI-25): حقول الضغط الاجمالي على الحافة الأمامية.

يصف لنا الشكلين (VI-25 و VI-26) توزيع حقول الضغط الاجمالي على الحافة الأمامية و الحافة الخلفية لشفرات الدافعة الخاصة بمضخة الطرد المركزي الخاصة بنا.

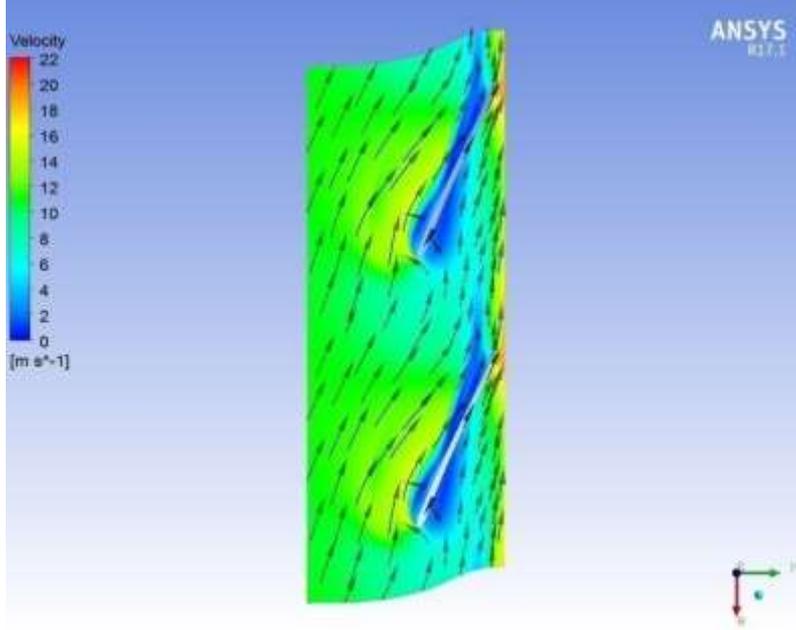


الشكل (VI-27): حقول الضغط الثابت static pressure على مستوى شفرات الدافعة.

يوضح هذا الشكل توزيع الحقول للضغوط الثابتة، تحت مستوى الشفرة، حيث يظهر بوضوح مدى تقدم حقول الضغط الثابت أثناء الانتقال من شفت المضخة إلى تفريغها.

الضغط الثابت أو الساكن، أو الضغط الهيدروستاتيكي كما يسمى أحياناً، هو الضغط الذي يمارسه المائع في وضع السكون، والمائع هو أي مادة لا تتوافق مع شكل ثابت قد يكون هذا سائلاً أو غازاً، ونظراً لأن السائل لا يتحرك، فإن الضغط الثابت هو نتيجة لوزن السائل أو قوة الجاذبية المؤثرة على الجسيمات الموجودة في السائل.

الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة Results and discussions



الشكل (VI-28): تيارات السرعة المطلقة على 80% من ارتفاع الشفرة.

يبين هذا الشكل توزيع حقول السرعات المطلقة على مستوى شفرات الدافعة؛ وقد تم إجراء هذا القياس عند 80% من ارتفاع الشفرة، ونلاحظ تقدم مجالات السرعات أثناء الانتقال من شفت المضخة إلى تفريغها مع شبه انعدام في السرعة حول الشفرات، بالإضافة إلى ذلك يمكن رؤية مناطق إعادة تدوير و توجيه السوائل عند عملية السحب بوضوح عند الوجه السفلي للشفرة *l'intrados*.

في ما يلي، سنقوم بتقديم و عرض جداول النتائج، مع حساب القيم حسب العلاقات التي تصف بطريقة دقيقة الأبعاد والأداء المختلفين للنموذج الهندسي الخاص بنا لمضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي.

Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة

Rotation Speed	151.8440	[radian/ s]
Reference Diameter	0.2975	[m]
Volume Flow Rate	0.0780	[m ³ /s]
Head (LE-TE)	21.6353	[m]
Head (IN-OUT)	20.7368	[m]
Flow Coefficient (δ)	0.0195	
Head Coefficient (IN-OUT) (τ)	0.0997	
Shaft Power	18755.4000	[W]
Power Coefficient (τ)	0.0023	
Total Efficiency (IN-OUT) %	84.3212	
Static Efficiency (IN-OUT) %	62.6395	

الجدول (8-VI): أداء مضخة الطرد المركزي.

العلاقات التي تم استخدامها للحساب هي كالتالي:

$$\delta = \frac{Q}{N.D^3} ; \mu = \frac{g.H}{N^2.D^2} ; \tau = \frac{p_a}{\rho.D^5.N^3}$$

بحيث:

- ✓ Q : معدل تدفق المضخة [m³/s].
- ✓ N : سرعة دوران الدافعة [tr/min].
- ✓ D : القطر المرجعي [m].
- ✓ g : الجاذبية [m/s²].
- ✓ ρ : الكتلة الحجمية [Kg/s].
- ✓ T : عزم الدوران المطبق على الدافعة [N.m].
- ✓ ω : السرعة الزاوية [rad/s].

تم حساب الارتفاعات من قبل العلاقة الشهيرة لأولر Euler : $H = \frac{\Delta p_{tot}}{\rho.g}$ [m]

Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة

$$P_a = Q_m (U_2 \cdot C_{2u} - U_1 \cdot C_{1u}) [W]$$

و كذلك، تم حساب الطاقة التي تمتصها المضخة بواسطة العلاقة: $P_a = Q_m (U_2 \cdot C_{2u} - U_1 \cdot C_{1u}) [W]$ في الجدول (8-VI) تم قياس الفرق الضغط بين الحافة الأمامية للشفرة و الحافة الخلفية لها، والتي تمت الإشارة إليها في الجدول السابق بواسطة (LE-TE)، و كذلك الفرق بين شفت المضخة و تفريغها، و المعطاة في الجدول (IN-OUT).

Quantity	Inlet	LE Cut	TE Cut	Outlet	TE/LE	TE-LE	Units
Density	997.000	997.0000	997.0000	997.0000	1.0000	0.0000	[kg/m ³]
P static	-7936.06	-26562.20	138492.000	147101.000	-5.2138	165054.00	[Pa]
P total	-46.1752	-7077.90	204455.000	202702.000	-28.8864	211533.00	[Pa]
P total (rot)	-233.324	-9695.130	-29743.900	-36994.100	3.0679	-20048.80	[Pa]
U	8.4171	9.1062	22.5837	24.9414	2.4800	13.4776	[m/s]
Cm	3.9588	5.1640	2.2812	1.5173	0.4417	-2.8829	[m/s]
Cu	0.0135	4.3674	9.7982	8.8980	2.2435	5.4308	[m/s]
C	3.9592	7.7612	10.1897	9.1030	1.3129	2.4284	[m/s]
Distortion Parameter	1.0290	1.3529	1.0981	1.1151	0.8117	-0.2548	
α	0.2124	54.1409	82.4647	82.8267	1.5232	28.3238	[deg]
Wu	-8.4035	-4.7395	-12.7856	-16.0434	2.6976	-8.0461	[m/s]
W	9.3915	7.8079	13.0668	16.1665	1.6735	5.2589	[m/s]
β	-62.5474	15.3562	25.5391	-58.5291	1.6631	10.1830	[deg]

الجدول (9-VI): النتائج المتحصل عليها من CFD-Post.

يقدم لنا الجدول في الأعلى بعض المعلومات المهمة المتعلقة بالقيم المختلفة للضغوط و السرعات بمختلف أنواعها، و كذا الزاوية α المتشكلة بين السرعة المطلقة و السرعة المماسية (\vec{U} و \vec{C})، و الزاوية β المتشكلة بين السرعة النسبية و السرعة المماسية للدافعة (\vec{U} و \vec{W})، و لهذا السبب تكون قيم هذه الزوايا كلها سالبة، و بخلاف ذلك، لا تكون هذه الزاوية أقل من 0 (درجة).

وقد تم الحصول على هذه القياسات في مختلف مناطق المضخة، وهي:

✓ السحب أو الشفت للمضخة. (Inlet).

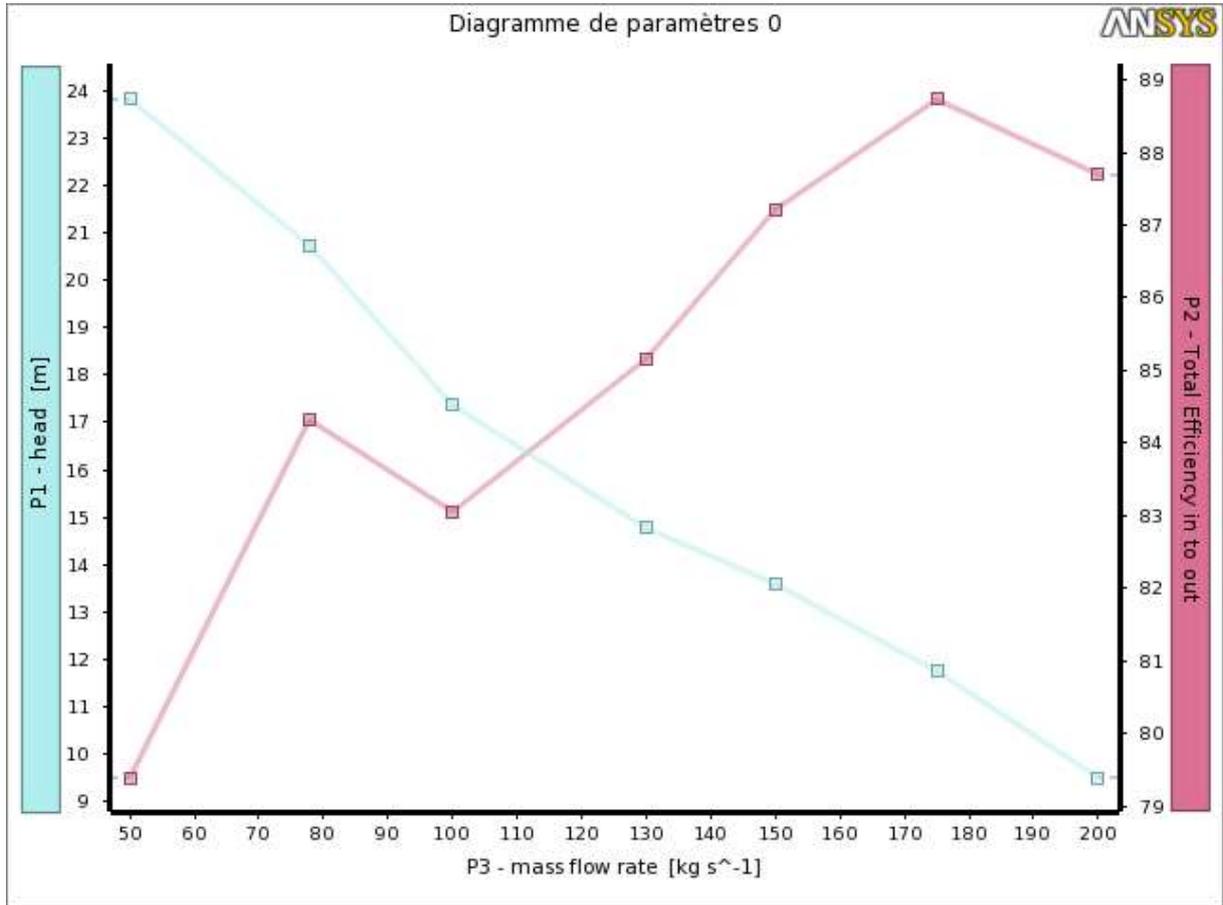
✓ تفريغ المضخة (Outlet).

✓ الحافة الأمامية للشفرة (Leading edge).

Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة

✓ الحافة الخلفية للشفرة (Trailing edge).

في الجدول السابق تحصلنا على نتائج و قيم تمكننا من رسم منحنيات تعكس أداء المضخة الخاصة بنا، حيث اخترنا تمثيل المنحنى الخاص بالكفاءة بدلالة معدل تدفق الكتلة، وكذا التغير في الارتفاع بدلالة معدل تدفق الكتلة، وهذا ما يوضحه الشكل التالي:



الشكل (VI-29): منحنى كفاءة المضخة و التغير في الارتفاع بدلالة معدل تدفق الكتلة.

المنحنى المعطى باللون الأحمر يمثل التغير في كفاءة المضخة بدلالة معدل التدفق للكتلة، ونعبر عن

الكفاءة أو مردود مضخة بالعلاقة التالية: $\eta_{tot} = \frac{\text{Power Output from Pump}}{\text{Power Input to Pump}} \cdot 100 =$

$$\frac{p_u}{p_a} \cdot 100$$

مع العلم أن: $p_u = (P_{\text{Discharge}} - P_{\text{suction}}) \cdot Q_m$

Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة

من المنطقي أنه كلما زاد معدل التدفق زادت الكفاءة، إلا أننا في المنحنى نلاحظ انخفاض مفاجئ للمردود في مرحلتين الأولى عند (100 ~ 80 [kg/s]) و الثانية عند (200 ~ 175 [kg/s])، يعود ذلك إلى تضاعف في قيمة الفرق بين الضغط عند السحب suction و الضغط عند التفريغ .Discharge

المنحنى المعطى باللون الأزرق يمثل التغير في الارتفاع المعطى بالعلاقة السابقة بدلالة معدل التدفق للكتلة، حيث نلاحظ أنه كلما زادت قيمة الكتلة المتدفقة نقصت قيمة الارتفاع، و هذا التغير ناتج عن التغير و النقصان في قيمة الفرق بين الضغط الإجمالي و الضغط في حالة السكون Δp_{tot} .

هذا الانخفاض المفاجئ في الفرق في الضغط سواء كان بين الضغط الإجمالي و الضغط الساكن أو الفرق بين ضغط السحب و ضغط التفريغ يسبب لنا مشاكل عديدة في المضخة خاصتنا، ومن أهمها مشكلة انخفاض مردود المضخة و مشكلة التكيف التي تسبب أضرار كبيرة للمضخة.

Results and discussions الفصل الرابع (VI): النتائج و المناقشة

VI-4-الخاتمة:

بعد شرح خطوات تصميم نموذجنا الهندسي للمضخة بإتباع جميع الخطوات اللازمة لذلك، تحصلنا على قيم و أرقام تعكس و تصف توزيعات حقول السرعات بمختلف أنواعها و كذا الضغوط، وذلك في مواقع مختلفة على شفرة الدافعة للنموذج الهندسي الخاص بنا، ولقد لاحظنا أن النتائج التي تحصلنا عليها تتفق تماما مع النظريات الخاصة بالمضخة، باستثناء التذبذب في قيمة الكفاءة، التي يعود سببها على الأرجح إلى طبيعة السائل اللزجة و المحمل بالجسيمات الصلبة.

الخاتمة العامة

General conclusion

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة:

هذا العمل هو محاكاة للتدفقات في المساحة و الحيز الهيدروليكي بين شفرات الدافعة لمضخة الطرد المركزي الخاصة بمياه الصرف الصحي، حيث عملنا على فهم سلوك تدفق و جريان السائل داخل هذه المضخة.

في المقام الأول، ومن أهم الأولويات قمنا بتقديم المؤسسة التي احتضنت عملنا هذا، بكونها تتوفر على هذا النوع من المضخات الخاصة، بحيث عرفنا المؤسسة و مختلف مركباتها المادية و البشرية و حتى موقعها وما إلى ذلك، كما تطرقنا إلى مختلف العمليات التي تمر بها معالجة مياه الصرف الصحي بعد تجميعها من المناطق المحيطة بالمحطة، و هنا يكمن دور المضخة في رفع المياه من القناة إلى المحطة كأول و أهم خطوات المعالجة.

و كخطوة تمهيدية قمنا بوصف المضخة الخاصة بمياه الصرف الصحي و عرض جميع مكوناتها، مع ذكر مبدأ عمل مضخات الطرد المركزي و النظريات الأساسية الخاصة بها، و التي بفضلها سنتمكن من فهم الجزء النظري للتدفقات الحاصلة داخل المضخة، و اعتمدنا في ذلك على مصادر مختلفة و عدة وثائق للحصول على هذه النظريات اللازمة لعملنا هذا.

أما في الفصل الثالث فتطرقنا إلى المعادلات التي تحكم و تصف هذه التدفقات وهي: معادلة الاستمرارية و معادلات نافي ستوكس (Navier-Stokes)، الممثلة في النظامين للتدفق، و كذا طرق حل هذه المعادلات و النتائج العددية القائمة أساسا على طريقة الأحجام المنتهية (finite volume).

في هذه المذكرة قمنا بدراسة عددية للتدفقات في دافعة مضخة طرد مركزي عمودية تتكون من شفرتين، و يتم تدوير هذه الأخيرة بسرعة ثابتة، و قد تم دراسة و مناقشة عدة تكوينات لتوزيع السرعة و الضغط، بحث تم إجراء المحاكاة و النمذجة في النظام المضطرب turbulent باستخدام النمط K-w SST (Shear Stress Transport)، و بالاعتماد على خوارزميات الحساب الرقمي التي تستند على طريقة الأحجام المحدودة أو المنتهية، و لقد لاحظنا أن النتائج التي حصلنا عليها تتفق تماما مع النظريات الخاصة بالمضخة، باستثناء التذبذب في قيمة الكفاءة، التي يعود سببها على الأرجح إلى طبيعة السائل اللزجة و المحمل بالجسيمات الصلبة، و ذلك بعد مقارنة المنحنى المحصل عليه مع المنحنى النظري المذكور سابقا.

المراجع:

- [01] M. GHETTAS Noureddine, mémoire de fin d'étude : Epuration des Eaux Usées : Cas de la Ville de Touggourt, Université Ouargla, 2008/2009.
- [02] Larry Bachus and Angel Custodio, Book, Know and Understand Centrifugal Pumps, Oxford OX5 1GB, UK, 2006.
- [03] P. LEFORT, book, les turbomachines, presses universitaires de France, 1969.
- [04] Rasmus K. Ursem, Centrifugal pump design: Three benchmark Problems for many-objective optimization, Denmark, Technical report no, 2010.
- [05] GRUNDFOS, Book, RESEARCH AND TECHNOLOGY THE CENTRUFUGAL PUMP.
- [06] ABDELAZIZ Amina and OULMANE Nassim, En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en Hydraulique, ETUDE DU RESEAU D'AEP DE LA VILLE DE SIDI ZERROUK WILAYA DE JIJEL-ADDITION ET DISTRIBUTION, 2017.
- [07] Edwaed Grist, Book, Cavitation in the centrifugal pump A Guide for pump users, US, 1998.
- [08] Jensen Precast, Fishier technique: pump station design guidelines-Second edition, Jensen Engineered Systems Company, 2012.
- [09] EBARA PUMPS AUSTRALIA PTY. LTD, Technical Data, DML Submersible Sewage Pumps with Single Channel Impeller.
- [10] A. BENSLIMANE, INTRADUCTION A LAMÉCANIQUE DES FLUIDES, document polycopié, université A. MIRA, Bejaia, 2017.
- [11] الأستاذ محمد هاشم صديق، كتاب ميكانيكا الموائع، قسم الهندسة الميكانيكية كلية الهندسة و العمارة جامعة الخرطوم، الإصدار الثانية 2006.
- [12] الأستاذ الدكتور عصام محمد عبد الماجد أحمد و آخرون، كتاب الموائع،الدار السودانية للكتب، الخرطوم السودان، 2001.
- [13] Sakir Amiroudine et Jean-Luc Battaglia, Book, Mécanique des fluides cours et exercices corrigés, Dunod, Paris, 2011.
- [14] Yash Nannoolal, Durban Campus For the degree Doctor of Philosophy (Chemical Engineering), University of Kwazulu-Natal, December 2006.

- [15] Syu Ono Sohei Kondo, Structure of Liquids/Struktur der Flussigkeiten, 134-280, 1960.
- [16] Yunus A.Cengel and John M.Cimbala, Book, Fluid Mechanics fundamentals and applications, McGRAW-HILL SERIES IN MECHANICAL ENGINEERING,2006.
- [17] Samir KATEB, Cours : Mécanique des fluides, Université Kasdi Merbeh Ouargla, 2014/2015.
- [18] Philippe. Marty, MECANIQUE DES FLUIDES Master 1 GDP, Université Joseph Fourier, Grenoble, 2012.
- [19]Jamel Chahed, Simulation des grandes échelles de la turbulence, université des sciences de Tunis, 12 juin 1999.
- [20] S. Sarkar L. Balakrishnan, APPLICATION OF A REYNOLDS STRESS TURBULENCE MODEL TO THE COMPRESSIBLE SHEAR LAYER, NASA Langley Research Center, 1990.
- [21] SENOUCI SADEK, Thèse Magister, ETUDE DE LA DEGRADATION DES PERFORMANCES D'UNE POMPE CENTRIFUGE EN ECOULEMENT DIPHASIQUE, UNIVERSITE DE KASDI MERBAH OUARGLA, 22 Juin 2014.
- [22] CHERFI Ryad. MOULOUD Smail, SIMULATION D'UN ÉCOULEMENT FLUVIAL À SURFACE LIBRE EN PRÉSENCE D'UNE CRÊTE, Université Abderrahmane MIRA- Bejaia, 2015.
- [23] ALLALI AHMED, Contribution à la conception d'une pompe centrifuge, Université d'Oran Mohamed Boudiaf, 2016.
- [24] BELAID Amine, ETUDE ET CONCEPTION D'UNE POMPE CENTRIFUGE, Université de Biskra, 2017.
- [25] Mekhalfia Soufyane, Modelisation théorique et simulation numérique de l'écoulement interne dans les turbomachines axiales, Université Saad Dahlab Blida, 2008.
- [26] M. YOUNSI, AEROACOUSTIQUE ET AERODYNAMIQUE INSTATIONNAIRE NUMERIQUE ET EXPERIMENTALE DES VENTILATEURS CENTRIGUGES A ACTION, thèse de doctorat, école des sciences des métiers de l'ingénieur, de Paris, 2007.

[27] الحاج الختم سر ميرغني فؤاد، استخدام ديناميكا الموائع المحوسبة لتحليل و نمذجة أداء مضخة الطرد المركزي، جامعة وادي النيل، 2018.

[28] M. ASAJE, METHOLOGIE ET OPTIMISATION DANS LA CONCEPTION ET L'ANALYSE DES PERFORMANCES DES TURBOMACHINES A FLUIDE INCOMPRESSIBLE, thèse de Doctorat, école nationale supérieure d'art et métiers, de Paris, 2003.

المخلص: إن الهدف من هذه الدراسة هو تسليط الضوء على التغير في ارتفاع و كفاءة مضخة الطرد المركزي الخاصة بمعالجة مياه الصرف الصحي، وذلك من خلال نمذجة الدافعة المكونة من شفتين الخاصة بالمضخة و محاكاتها على البرنامج المحاكي ANSYS ،و الذي بدوره يعالج و يحلل هذه المعطيات باستعمال معادلات الاستمرارية و معادلات نافي ستوكس الخاصة بالموائع اللزجة، و باستخدام خوارزميات دقيقة تعتمد في الأساس على طريقة الأحجام المنتهية أو المحدودة.

تمكنا من خلال كل هذا من الحصول على نتائج عددية مدونة في جدول و الذي بدوره يمكننا من رسم مخططات بيانية توضح التغير في مناطق مختلفة من الدافعة، كما تحصلنا على مخططات بيانية تبين و توضح توزيع حقول الضغط و التباينات في الأنواع الثلاثة للسرعات، وفي الأخير قدمنا مقارنة بين النتائج المحصل عليها و القيم النظرية لمنحنى تغير الكفاءة و منحنى تغير الارتفاع بدلالة التدفق الكتلي.

الكلمات المفتاحية: مضخة الطرد المركزي، الارتفاع، الكفاءة، النمذجة، المحاكاة، الأحجام المنتهية، الدافعة.

Abstract: The aim of this study is to highlight the change in the head and efficiency of the sewage treatment centrifuge pump, by modeling the blade Impeller pump specific impulsive emulator on the Ansys simulator program, which in turn processes and analyzes these data using continuity equations and Navi Stokes equations of viscous fluids, and using accurate algorithms that are primarily based on the method of finite volumes.

Through all of this we were able to obtain numerical results written in a table that in turn enable us to draw graphs showing change in different areas of the Impeller, and we also have diagrams showing the distribution of pressure fields and variations in the three types of velocity, The latter provided a comparison between the results obtained and the theoretical values of the change-of-efficiency curve and the change-of-head curve in terms of mass-flow rate.

Keywords: centrifuge pump, head, efficiency, modeling, analyzes, Impeller, finite volumes.