

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي
كلية العلوم الدقيقة



رقم الترتيب:

رقم التسلسل:

مذكرة تخرج لنيل شهادة
ماستر أكاديمي
مجال: علوم المادة
تخصص: فيزياء الإشعاعات
من اعداد الطالب: عبد الرزاق كراسع
تحت عنوان:

دراسة عددية وتجريبية حول جريان الموائع داخل أنبوب فنتوري
Numerical and experimental study of fluid flow
inside a Venturi tube

نوقشت يوم: 2025/05/28

أمام اللجنة المكونة من:

رئيسا	أستاذ	محلو السعيد
مشرفا	أستاذ محاضر -أ-	عبد القادر اللبي
ممتحنا	أستاذ محاضر -أ-	حاج عمار محمد علي

السنة الجامعية: 2025/2024



الحمد والشكر لله على النعمة والخير الذي أوصلني إليه،
والصلاة والسلام على رسول الله صلى الله عليه وسلم،
أهدي هذا العمل إلى:

إلى والدي الغالين اللذان لم يدخرا جهدا في تربيتهما وتعليمنا
والدعاء لنا دوما

إلى زوجتي رفيقة حياتي التي شجعتني على مواصلة الدراسة
إلى أبنائي فلذات كبدي وإلى أخوتي وأخواتي
إلى زملائي وزميلاتي في العمل وفي الدراسة

إلى كل من علمني حرف، أساتذتي ومعلمي أهل الفضل علي
إلى كل من يفكر ويبحث من أجل الارتقاء بالعلم
أهديهم هذا البحث سائلا الله المولى عز وجل أن ينفعنا
به ويمدنا بتوفيقه

عبد الرزاق كراسع

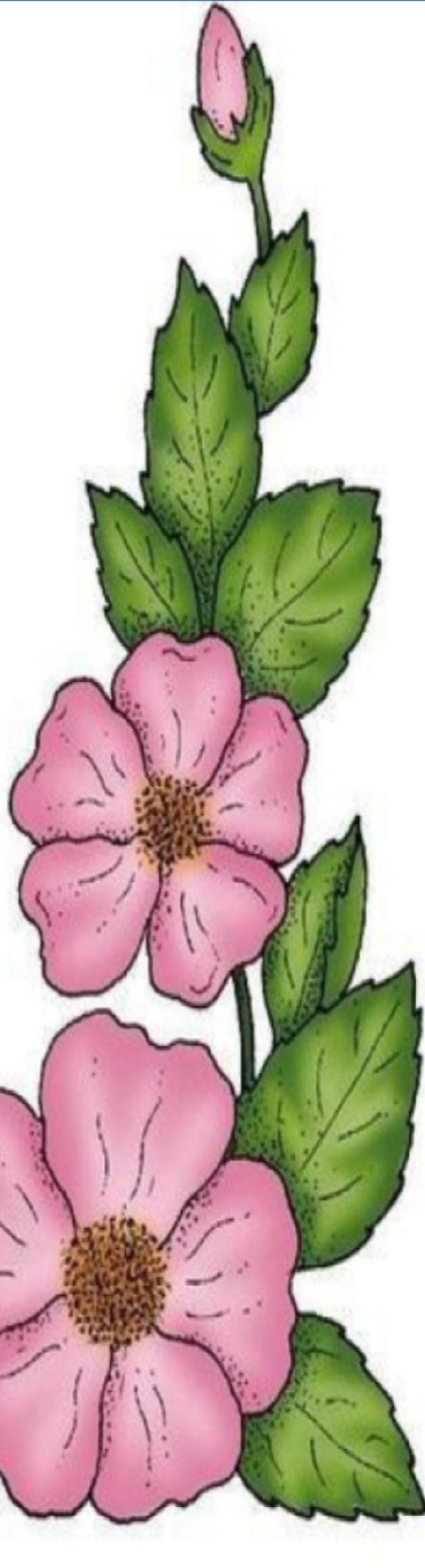
شكركم

الحمد والشكر لله الذي أتم علينا بنعمته وفضله لإنجاز هذا البحث العلمي الذي ثمره جهود مبذولة في سبيل العلم والتعلم .

أولاً أتقدم بجزيل الشكر والعرفان إلى المشرف الدكتور عبدالقادر اللبي بجامعة الوادي الذي أشرف على إعداد هذه الأطروحة، الذي قدم لي النصائح والإرشادات وعمل جاهداً على تذليل جميع الصعوبات والمعوقات من أجل رقي العلم والتعليم، فلك يا من كان لك السبق في ركب العلم والتعليم اهدي اسمي عبارات الشكر والتقدير التي تليق بك .

واتوجه بشكري لأعضاء لجنة المناقشة كل باسمه رئيس اللجنة الأستاذ الدكتور مخلو السعيد والمتحن الدكتور حاج عمار محمد علي .

واتوجه بشكري لزملائي وزميلاتي في الدراسة والعمل الذين لم يدخروا جهداً في مساعدة من أجل الدراسة . أتوجه بخالص شكري إلى مديري في متوسطة بحري مختار بسيدي عون الذي كان عوناً لي وتفهمه لظروف دراستي وعلى كل ما قدمه لي من مساعدة إدارية وتسهيلات .



الفهرس

الفهرس

الصفحة	المحتوى
I	الاهداءات
II	التشكرات
III	الفهرس
VII	قائمة الجداول
VIII	قائمة الصور
XI	قائمة الرموز
XIV	المصطلحات
XIX	الملخص
1	المقدمة العامة

الفصل الأول: مفاهيم ومعادلات أساسية في علم الموائع

3	1. مقدمة
3	2. الموائع
3	1.2. مفهوم الموائع
4	2.2. أنواع الموائع
4	1.2.2. الموائع المثالية والموائع الحقيقية
5	2.2.2. الموائع القابلة للانضغاط والموائع الغير قابلة للانضغاط
5	3.2. الخواص الفيزيائية للموائع
5	1.3.2. اللزوجة
5	2.3.2. الكتلة الحجمية
6	3.3.2. اجهادات القص في الموائع المتحركة
6	4.3.2. الوزن النوعي (الثقل النوعي)
6	5.3.2. الكثافة
6	6.3.2. الحجم النوعي
6	7.3.2. التوتر السطحي

الفهرس

7	..... 8.3.2 الانضغاطية
7	..... 3. المعادلات الأساسية في ميكانيك الموائع
7	..... 1.3. معادلة الاستمرارية (حفظ الكتلة)
8	..... 2.3. معادلة برنولي
9	..... 3.3. معادلة نافير - ستوكس
10	..... 4. الموائع في حالة حركة
10	..... 1.4. أنواع انسياب الموائع
10	..... 1.1.4. الانسياب الرقائقي (الهادئ) الطبقي
11	..... 2.1.4. الانسياب المضطرب (الدوامي)
11	..... 3.1.4. الانسياب الانتقالي
11	..... 2.4. التدفق الحجمي والتدفق الكتلي
11	..... 3.4. رقم رينولدز
11	..... 1.3.4. رقم رينولدز
12	..... 2.3.4. رقم رينولدز الحرج
12	..... 4.4. فواقد الطاقة
12	..... 1.4.4. فواقد الطاقة الناتجة عن الاحتكاك داخل الأنابيب مستديرة المقطع
13	..... 2.4.4. فواقد الطاقة الثانوية
13	..... 5. الخاتمة

الفصل الثاني: أنبوب فنتوري

14	..... 1. مقدمة
14	..... 2. مقياس فنتوري "Venturi Meter"
14	..... 1.2. مقياس فنتوري
15	..... 2.2. مبدأ عمل جهاز فنتوري
16	..... 3.2. طريقة قياس كمية التدفق باستخدام الجهاز
17	..... 3. الخاتمة

الفصل الثالث: معلومات عامة عن البرامج الرقمية المعالجة

18	..... 1. مقدمة
18	..... 2. المعالجة الرقمية
18	..... 1.2. اختيار الطريقة الرقمية
18	..... 2.2. مبدأ طريقة الحجم المحدود
20	..... 3.2. مبدأ ميكانيكا الموائع الرقمية "CFD"
20	..... 4.2. معادلات الانتقال
21	..... 3. شرح عام برنامج المحاكاة الرقمي المستخدم
21	..... 1.3. شرح عام لبرنامج "Gambit 2.3.16"
22	..... 2.3. أيقونات وأوامر في البرنامج الرقمي Gambit 2.3.16
22	..... 1.2.3. أوامر لبناء الشكل الهندسي
23	..... 2.2.3. أيقونة تعليم النقط
24	..... 3.2.3. أيقونة رسم القطع
25	..... 4.2.3. أيقونة اعداد الوجه
26	..... 5.2.3. أيقونة اعداد الجسم
27	..... 6.2.3. أيقونة اعداد الشبكة
27	..... 7.2.3. مواصفات مخطط عنصر الوجه
27	..... 8.2.3. تحديد نوع الشبكة لعناصر الوجه
28	..... 9.2.3. تحكم عام في النقطة /القطعة / الوجه/ الجسم
28	..... 10.2.3. الشروط الحدية وتعريف المجال
29	..... 3.3. برنامج المحاكاة FLUENT
30	..... 4.3. الخطوات التي يجب اتباعها للمحاكاة ببرنامج "FLUENT 6.3.26"
30	..... 1.4.3. قراءة الملف
30	..... 2.4.3. قراءة والتحقق من الشكل الهندسي المستورد
31	..... 3.4.3. التعديل على الوحدات في الشكل الهندسي المستورد
31	..... 4.4.3. تعريف الجوانب المختلفة للمشكلة
32	..... 5.4.3. تعريف نظام التدفق

الفهرس

32	.....	6.4.3 . تحديد نوع المواد المستخدمة
33	.....	7.4.3 . تحديد شروط التشغيل
33	.....	8.4.3 . تحديد الشروط الحدية
34	.....	9.4.3 . تهيئة الحسابات
34	.....	10.4.3 . الحساب التكراري
34	.....	11.4.3 . استخراج صور للمحاكاة الرقمية
35	.....	4 . الخاتمة

الفصل الرابع : المواد والطرق

36	.....	1 . مقدمة
36	.....	2 . الدراسة التجريبية لجريان الموائع داخل أنبوب فنتوري
37	.....	3 . عرض الهندسة المرجعية
37	.....	4 . خطوات النمذجة
37	.....	1.4 . بناء وتشكيل الهندسة على برنامج Gambit 2.3.16
40	.....	2.4 . المحاكاة ببرنامج Fluent 6.3.26
45	.....	5 . الخاتمة

الفصل الخامس : النتائج و المناقشة

46	.....	1 . مقدمة
46	.....	2 . القياسات التجريبية المتحصل عليها
46	.....	3 . نتائج المحاكاة العددية
46	.....	1.3 . حالة الجريان الرقائقي
49	.....	2.3 . حالة الجريان المضطرب
51	.....	4 . المقارنة بين النتائج التجريبية ونتائج المحاكاة العددية
55	.....	5 . الخاتمة
56	.....	الخاتمة العامة
57	.....	المراجع

قائمة الجداول

قائمة الجداول

- 3 جدول (I-1): مقارنة بين الغازات والسوائل
- الجدول (III-1): يوضح أيقونات وأوامر لإنشاء والتعديل على النقط في البرنامج الرقمي
23 Gambit
- الجدول (III-2): يوضح أيقونات وأوامر لإنشاء والتعديل على القطع في البرنامج الرقمي
24 Gambit
- الجدول (III-3): يوضح أيقونات وأوامر لإنشاء والتعديل على الوجه في البرنامج الرقمي
25 Gambit
- الجدول (III-4): يوضح أيقونات وأوامر لإنشاء والتعديل على الجسم في البرنامج الرقمي
26 Gambit
- الجدول (III-5): يوضح أنواع شبكات الأسطح في البرنامج الرقمي Gambit 27
- الجدول (III-6): يوضح أنواع عناصر الأوجه المرتبطة بكل شبكة في البرنامج الرقمي Gambit 28
- الجدول (IV-1): مواضع القياسات والأبعاد المميزة لمقياس فنتوري المستخدم 37
- الجدول (V-1): القياسات التجريبية للضغط الستاتيكي المأخوذة من الأنابيب البيزومترية 46

قائمة الصور

- 4 الشكل (1-I): توزيع السرعة لمائع مثالي
- 4 الشكل (2-I): توزيع السرعة لمائع حقيقي
- 7 الشكل (3-I): التوتر السطحي
- 8 الشكل (4-I): أنبوب تيار
- 10 الشكل (5-I): الانسياب الرقائقي
- 11 الشكل (6-I): الانسياب المضطرب
- 15 الشكل (1-II): أنبوب فنتوري
- 15 الشكل (2-II): مخطط لأنبوب فنتوري
- 15 الشكل (3-II): مقطع لأنبوب فنتوري
- 16 الشكل (4-II): رسم تخطيطي للمتغيرات أنبوب فنتوري
- 19 الشكل (1-III): محتوى حجم التحكم ثنائي الأبعاد
- 22 الشكل (2-III): واجهة البرنامج الرقمي Gambit 2.3.16
- 22 الشكل (3-III): أيقونة بناء الشكل الهندسي في البرنامج الرقمي Gambit 2.3.16
- 27 الشكل (4-III): واجهة إعداد الشبكة للشكل في البرنامج الرقمي Gambit
- 28 الشكل (5-III): واجهة التحكم العام لنقطة /قطعة/وجه/مجسم في البرنامج الرقمي Gambit ..
- 29 الشكل (6-III): واجهة لتحديد الشروط الحدية في البرنامج الرقمي Gambit
- 29 الشكل (7-III): واجهة برنامج FLUENT
- 30 الشكل (8-III): طريقة قراءة إشكالية في برنامج FLUENT
- 30 الشكل (9-III): قراءة التحقق من الشكل الهندسي المستورد
- 31 الشكل (10-III): واجهة التعديل على الوحدات في الشكل الهندسي المستورد
- 31 الشكل (11-III): تعريف الجوانب المختلفة للمشكلة
- 32 الشكل (12-III): تعديل اللزوجة ونوع الجريان بنموذج مسبق
- 32 الشكل (13-III): تحديد نوع المواد المستعملة للمحاكاة
- 33 الشكل (14-III): تحديد شروط التشغيل
- 33 الشكل (15-III): تحديد الشروط الحدية المسبقة
- 34 الشكل (16-III): تهيئة الحسابات
- 34 الشكل (17-III): إجراء التكرارات
- 35 الشكل (18-III): أوامر لاستخراج المحاكاة

قائمة الصور

- 36 الشكل (IV-1): صورة توضح مقياس فنتوري المستخدم موضوع فوق المقعد الهيدروليكي.....
- الشكل (IV-2): مخطط لمقياس فنتوري المستخدم موضحة عليه المراجع الخاصة بالأنابيب البيزومترية.....
- 37
- 38 الشكل (IV-3): مواضع نقط الشكل الهندسي لأنبوب فنتوري في برنامج Gambit.....
- 38 الشكل (IV-4): شكل الهندسي لأنبوب فنتوري في برنامج Gambit.....
- 39 الشكل (IV-5): حدود الشبكة لأنبوب فنتوري في برنامج Gambit.....
- 39 الشكل (IV-6): شبكة سطح أنبوب فنتوري في برنامج Gambit.....
- 40 الشكل (IV-7): الشروط الحدية لأنبوب فنتوري في برنامج Gambit.....
- 40 الشكل (IV-8): شروط مجال الدراسة لأنبوب فنتوري في برنامج Gambit.....
- 40 الشكل (IV-9): تصدير الملف بتنسيق "msh" في برنامج Gambit.....
- 41 الشكل (IV-10): اختيار الدقة في برنامج المحاكاة Fluent.....
- 41 الشكل (IV-11): أيقونة برنامج المحاكاة Fluent.....
- 41 الشكل (IV-12): أيقونة برنامج المحاكاة Fluent بعد فحص البيانات.....
- 42 الشكل (IV-13): أيقونة المحلّ برنامج المحاكاة Fluent.....
- 42 الشكل (IV-14): أيقونة تعديل اللزوجة برنامج المحاكاة Fluent.....
- 43 الشكل (IV-15): أيقونة تعديل المواد برنامج المحاكاة Fluent.....
- 43 الشكل (IV-16): أيقونة تعديل شروط التشغيل برنامج المحاكاة Fluent.....
- 43 الشكل (IV-17): أيقونة الشروط الحدية برنامج المحاكاة Fluent.....
- 44 الشكل (IV-18): أيقونة تهيئة الحسابات برنامج المحاكاة Fluent.....
- 44 الشكل (IV-19): أيقونة المحلّ برنامج المحاكاة Fluent.....
- الشكل (V-1): تغيير الضغط الستاتيكي عند الجدار على طول أنبوب فنتوري من أجل جريان رقائقي.....
- 47
- 47 الشكل (V-2): تغيير السرعة عند المحور على طول أنبوب فنتوري من أجل جريان رقائقي.....
- 48 الشكل (V-3): توزيع السرعة داخل أنبوب فنتوري من أجل جريان رقائقي.....
- 48 الشكل (V-4): توزيع الضغط الستاتيكي داخل أنبوب فنتوري من أجل جريان رقائقي.....
- الشكل (V-5): تغيير الضغط الستاتيكي عند الجدار على طول أنبوب فنتوري من أجل جريان مضطرب.....
- 49
- 50 الشكل (V-6): تغيير السرعة عند المحور على طول أنبوب فنتوري من أجل جريان مضطرب...
- 50 الشكل (V-7): توزيع الضغط الستاتيكي داخل أنبوب فنتوري من أجل جريان مضطرب.....
- 51 الشكل (V-8): توزيع السرعة داخل أنبوب فنتوري من أجل جريان مضطرب.....

قائمة الصور

- الشكل (9-V): تغير الضغط الستاتيكي المحسوب عن طريق التجربة والمحاكاة على طول جدار الأنبوب من أجل رقم رينولدز عند المدخل $Re = 4610$ 52
- الشكل (10-V): تغير الضغط الستاتيكي المحسوب عن طريق التجربة والمحاكاة على طول جدار الأنبوب من أجل رقم رينولدز عند المدخل $Re = 3918$ 52
- الشكل (11-V): تغير الضغط الستاتيكي المحسوب عن طريق التجربة والمحاكاة على طول جدار الأنبوب من أجل رقم رينولدز عند المدخل $Re = 3179$ 53
- الشكل (12-V): تغير الضغط الستاتيكي المحسوب عن طريق التجربة والمحاكاة على طول جدار الأنبوب من أجل رقم رينولدز عند المدخل $Re = 7542$ 53
- الشكل (13-V): تغير الضغط الستاتيكي المحسوب عن طريق التجربة والمحاكاة على طول جدار الأنبوب من أجل رقم رينولدز عند المدخل $Re = 7888$ 54
- الشكل (14-V): تغير الضغط الستاتيكي المحسوب عن طريق التجربة والمحاكاة على طول جدار الأنبوب من أجل رقم رينولدز عند المدخل $Re = 1985$ 54

قائمة الرموز

قائمة الرموز

الاسم	الرمز
مساحة المقطع	A / S
كثافة المادة	d
القوة المؤثرة على السطح	F
الجاذبية الأرضية	g
متوسط معامل المرونة الحجمي	\bar{K}
كتلة المادة	m
الضغط	P
الحجم	V
السرعة	U
معامل اللزوجة الديناميكية (التحريكية)	μ
معامل اللزوجة المطلقة (الحركية)	ϑ
الكتلة الحجمية	ρ
اجهاد القص	τ
الوزن النوعي (الثقل النوعي)	γ
الحجم النوعي	ν
شعاع السرعة	\vec{v}
مركبة السرعة على المحور x	u
مركبة السرعة على المحور y	v
مركبة السرعة على المحور z	w
تمثل الاتجاهات	(x, y, z)
تمثل مركبات قوى الحجم لوحدة الكتلة	(X, Y, Z)
يمثل التسارع الكلي على المحور x	$\frac{du}{dt}$
يمثل التسارع الكلي على المحور y	$\frac{dv}{dt}$
يمثل التسارع الكلي على المحور z	$\frac{dw}{dt}$

قائمة الرموز

يمثل التسارع المحلي	$\frac{\partial u}{\partial t}$
يمثل التسارع الحتمي أو الانتقالي	$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z}$
التدفق الحجمي	Q_v
التدفق الكتلي	Q_m
رقم رينولدز	Re
الزمن	t
ضغط الماء عند السطح عند الموضع 1	P_1
ضغط الماء عند السطح عند الموضع 2	P_2
حجم الماء عند الضغط P_1	V_1
حجم الماء عند الضغط P_2	V_2
سطح محدد 1	A_1
سطح محدد 2	A_2
سرعة السائل عند السطح 1	v_1
سرعة السائل عند السطح 2	v_2
ارتفاع السائل عند الموضع 1	Z_1
ارتفاع السائل عند الموضع 2	Z_2
فواقد الطاقة	ΔH
قطر الأنبوب	D
كمية الطاقة المفقودة بالاحتكاك	h_f
معامل الاحتكاك وهو لا بعدي	f
طول الأنبوب	L
فواقد الطاقة الثانوية	h_s
معامل الفاقد الثانوي	K
التدفق الحجمي النظري	$Q_{v,th}$
التدفق الحجمي التجريبي	$Q_{v,réel}$
معامل التدفق	C_d

قائمة الرموز

ميكانكا الموائع الرقمية	CFD
رمز العقد	P
عدد العقد	n
الشرق	E
الغرب	W
الشمال	N
الجنوب	S
التصميم بمساعدة الكمبيوتر	DAO

الإنجليزية	العربية
Absolute viscosity	اللزوجة المطلقة
Acceleration	التسارع
Add	إضافة
Active	تنشيط
Apply	تطبيق
Axes	محاور
Basic equations	المعادلات الأساسية
Bernoulli's equation	معادلة برنولي
Boundary conditions	شروط حدية
Case	الإشكالية
Channels	قنوات
Chek	فحص
Crid	شبكة
Coefficient of friction	معامل الاحتكاك
Close	اغلاق
Compute from	أحسب من
Compression	انضغاط
Command	أمر
Connections	وصلات
Conservation of mass	حفظ الكتلة
Continity equqtion	معادلة الاستمرارية
Contour	المناطق
Coordinates	احداثيات
Copy	نسخ
Define	تعريف
Dellete	حذف

قائمة المصطلحات

Dellete all	حذف الكل
Density	الكثافة
Description	وصف
Design Assist by Ordinateur	تصميم بمساعدة الكمبيوتر
Differential equation	معادلة تفاضلية
Digital processing	المعالجة الرقمية
Display	عرض
Dynamic viscosity	اللزوجة الديناميكية
Edit	تحرير
Energy exchange	تبادل طاقي
Energy losses	فواقد الطاقة
Exporte mesh file	تصدير ملف بصيغة "msh"
Face	وجه
Fille	ملف
Flow	انسياب / جريان / تدفق
Flow coefficient	معامل التدفق
Flow velocity	سرعة الجريان
Fluid	مائع / سائل
Fluid mechanics	ميكانيك الموائع
Fluid velocity	سرعة مائع
Formulation	صيغة
Friction	احتكاك
Gas	غاز
Gemetry	هندسة
Globale controle	مراقبة عامة
Gravity	جاذبية
help	مساعدة
Ideal fluids	الموائع المثالية

قائمة المصطلحات

Importe	استيراد
Initialize	تهيئة
Iterate	تكرار
Kinematic viscosity	اللزوجة الحركية
Kinematic viscosity coefficient	معامل اللزوجة الحركية
Kinetic energy	طاقة حركية
Laminar flow	الانسياب الرقائقي
Linear losses	الفواقد الخطية
Liquid	سائل
Local acceleration	التسارع المحلي
Lost charge	فاقد الشحنة
Manomètre	مقياس الضغط
Map	شبكة
Mass flow	التدفق الكتلي
Materiles	مواد
Mesh	شبكة
Model	نموذج
Modify	تعديل
Momentum equation	معادلة كمية الحركة
Moving fluids	الموائع المتحركة
Navier –Stokes equation	معادلة نافير - ستوكس
Numbre of iteration	عدد التكرارات
Operation	عملية
Operatin condition	شروط التشغيل
Piece	قطعة
Piezometric pressure	الضغط البيزومتري
Piezometric tubes	أنابيب بيزو مترية
Potential energy	الطاقة الكامنة

قائمة المصطلحات

Pressure	ضغط
Properties	خواص
Quad	رباعي
Read	قراءة
Real fluids	الموائع الحقيقية
Referance frame	إطار مرجعي
Referance geometry	هندسة مرجعية
Reset	إعادة ضبط
Reynolds number	رقم رينولدز
Scale	حجم
Scondary losses	فواقد ثانوي
Shear stress	اجهاد القص
Simulation	محاكاة
Sepcify boundary types	تحديد أنواع الحدود
Specific gravity	الوزن النوعي
Specific volume	الحجم النوعي
Solid	صلب
Solution initialization	تهيئة الحل
Solver	محلل
Specify continum type	شروط مجال الدراسة
Static pressure	الضغط الستاتيكي
Submap	شبكة فرعية
Surface tension	التوتر السطحي
Surface tension force	قوة شد السطح
Temperature	درجة الحرارة
The heat	الحرارة
Time	زمن
Total energy	طاقة كلية

قائمة المصطلحات

Total acceleration	التسارع الكلي
Transcribe	نسخ
Transition equation	معادلة الانتقال
Translational acceleration	التسارع الانتقالي
Transitional flow	الانسياب الانتقالي
Tri	ثلاثي
Tube	أنبوب
Tube diametre	قطر أنبوب
Tube radius	نصف قطر أنبوب
Turbulent flow	الانسياب المضطرب
Type	نوع
Vectors	اتجاهات
Venturi tube	أنبوب فنطوري
Versions	الإصدارات
Viscosity	اللزوجة
Viscous model	نموذج اللزوجة
Volume de controle	مستوى حجم التحكم
Volumetric mass	الكتلة الحجمية
Volumetric flow	التدفق الحجمي
Vortex flow	الانسياب الدوامي
Wall	جدار
Water liquid	ماء سائل
Wedge primitive	إسفينية بدائية
Zone	منطقة

المخلص

يستخدم أنبوب فنتوري على نطاق واسع في العمليات الصناعية، في معالجة المياه وتوزيعها والصناعات الكيميائية والبتروكيميائية، إذ يسمح بقياس أنبوب فنتوري بمعرفة الضغط الستاتيكي وسرعة جريان المائع داخله باستعمال المعادلات الأساسية في ميكانيك الموائع معادلة برنولي، معادلة الاستمرارية ومعادلة نافير - ستوكس. تهدف دراستنا إلى إجراء مقارنة بين النتائج التجريبية والمحاكاة العددية لجريان الموائع داخل أنبوب فنتوري ولقد توصلنا إلى أن تغيرات قيم الضغط الستاتيكي التجريبية تتوافق مع قيم المحاكاة العددية على طول جدار الأنبوب من أجل أي رقم رينولدز.

الكلمات المفتاحية:

الموائع - جريان الموائع - أنبوب فنتوري - ضغط ستاتيكي - سرعة - معادلة الاستمرارية - محاكاة عددية.

Summary

The Venturi tube is widely used in industrial processes, such as water treatment and distribution, and the chemical and petrochemical industries. The Venturi tube gauges allow the static pressure and velocity of the fluid flow inside it to be determined using the fundamental equations of fluid mechanics: the Bernoulli equation, the continuity equation, and the Navier-Stokes equation. Our study aims to compare experimental results with numerical simulations of fluid flow inside in a Venturi tube. We found that the changes in experimental static pressure values are consistent with the numerical simulation values along the tube wall for any Reynolds number.

Keywords:

Fluids - Fluid Flow - Venture Tube - Static Pressure - Velocity - Continuity Equation - Numerical Simulation

المقدمة العامة

المقدمة العامة

علم ميكانيكا الموائع من أعظم العلوم النظرية والتجريبية التي درسها الباحثون قديما وحديثا، فهو علم يدرس سلوك السوائل والغازات من عدة جوانب، إذ يعتمد على نفس مبادئ وأسس ميكانيك المواد الصلبة.

ينقسم علم ميكانيكا الموائع إلى ثلاثة أقسام:

- ستاتيكا الموائع الذي يدرس الموائع في حالة سكون.
- كينماتيكا الموائع الذي يدرس سرعة جريان الموائع والتدفق دون دراسة مسببات الجريان من طاقة وقوى مؤثرة [1] [2].
- ديناميكا الموائع الذي يدرس العلاقة بين السرعة والتسارع والضغط والقوى المؤثرة على المائع والقوى التي يؤثر بها المحيط على المائع [1] [2].

درس علم ميكانيكا الموائع عدة مجالات في الحياة اليومية منها مجال التكييف والتبريد، توليد الكهرباء، انتاج النفط والغاز، معالجة وتوزيع المياه، وغير ذلك. لذا لجأ الباحثون إلى عدة ابتكارات التي تساهم في تطوير هذا العلم، منها الحاسوب الذي عرف تطورا كبيرا في السنوات الأخيرة، الذي أدى إلى تطوير الطرق العددية التي تسمح بإجراء حسابات ثنائية وثلاثية الأبعاد لجريان الموائع، تدعى إحدى الطرق بالتمذجة العددية لجريان المائع "CFD" (ديناميكيات الموائع الحسابية)، وهي مجموعة من الطرق العددية التي تسمح بالحصول على حل تقريبي لمشكلة ديناميكا الموائع باستخدام معادلات ميكانيكا الموائع وهي طريقة ذات أهمية كبيرة لتطوير وتحسين تصميم العمليات الصناعية المختلفة [2] [3].

ومن الابتكارات التي تم إنجازها في ميكانيكا الموائع مقياس أنبوب فنتوري، الأبسط والأكثر دقة لقياس معدل تدفق السوائل المختلفة بقياس التغير في الضغط. إذ أن المعادلات الأساسية في ميكانيك الموائع معادلة برنولي، معادلة الاستمرارية ومعادلة نافير - ستوكس من المعادلات التي يعتمد عليها جهاز فنتوري بشكل أساسي [2] [3] [4]

أجرى العديد من الباحثين عدة بحوث تجريبية ومحاكاة عددية حول أنبوب فنتوري منهم:

المقدمة العامة

- دراسة عددية وتجريبية حول ظاهرة التجويف داخل أنبوب فنتوري، للباحثين كوزاك وآخرون [5]، شي وآخرون [6] [7]
- تحليل خصائص مجال التدفق لأنبوب فنتوري ذي التجويف، للباحث لي وآخرون [8].
- تحليل CFD للتدفق عبر أنبوب فنتوري ولمعامل تفريغه، للباحث توكيمين وآخرون [9].

والإشكالية التي نطرحها في عملنا هذا، هل فعلاً تتطابق النتائج التجريبية مع نتائج المحاكاة العددية فيما يخص جريان الموائع داخل أنبوب فنتوري؟

تم تنظيم هذه الأطروحة في خمس فصول بالإضافة إلى المقدمة العامة والخاتمة العامة، ثلاثة فصول الأولى منها نظرية حيث الفصل الأول بعنوان مفاهيم ومعادلات أساسية في علم الموائع الذي تضمن مفهوم الموائع وخصائصها وأهم المعادلات الأساسية المستخدمة في هذه الأطروحة وهي معادلة الاستمرارية ومعادلة برنولي ومعادلة نافير-ستوكس، يليه الفصل الثاني بعنوان أنبوب فنتوري، تضمن تعريف وخصائص أنبوب فنتوري وتأثير ومجالات استخدام أنبوب فنتوري. أما الفصل الثالث تحت عنوان معلومات عامة عن البرامج الرقمية المعالجة وتضمن شرح مبسط من العموميات المتعلقة بالنمذجة العددية المتعلقة بتدفق السوائل، وصف عمومي وشرح بسيط لكيفية استخدام البرنامجين الرقميين "Gambit2.3.16" و"FLUENT6.3.26"، وفي الفصلين الأخيرين الرابع والخامس ذوا طابع تجريبي، فالرابع بعنوان المواد والطرق وتم عرض المراحل المختلفة من النمذجة، مروراً من رسم الهندسة على مولد شبكة Gambit إلى المحاكاة ببرنامج المحاكاة Fluent. ويليه الخامس بعنوان النتائج والمناقشة حيث تم فيه عرض النتائج والمناقشة.

الفصل الأول

مفاهيم ومعادلات أساسية
في علم المواع

I- مفاهيم ومعادلات أساسية في علم الموائع

1. مقدمة

يحتاج الإنسان في حياته اليومية إلى التعامل مع المادة، والتي تتواجد هذه الأخيرة بعدة حالات منها الحالة السائلة والحالة الغازية. إذ يطلق على الحالتين بالموائع. حيث تمتلك الموائع خصائص فيزيائية وكيميائية، وعند قيام الباحثين بدراسة خصائص الموائع وجد أنها تخضع لعدة قوانين وعلاقات رياضية. سنقتصر في هذا الفصل بذكر خصائص الموائع الفيزيائية والقوانين الرياضية منها المعادلات الأساسية في علم الموائع [1][2][3].

2. الموائع

1.2 مفهوم الموائع:

تتواجد المواد في الطبيعة في الغالب بثلاثة أشكال هي الشكل الصلب والشكل السائل والشكل الغازي. فالغازات والسوائل تدعى بالموائع التي تمتلك خصائص تختلف عن المواد الصلبة إذ أن الموائع تفتقر لمقاومة قوى القص [1]، أي ان المائع يتغير شكله فينحرف عند تسليط أقل مقدار من قوة القص، ويستمر انحرافه مادامت القوة مؤثرة فيه. تحتفظ المواد الصلبة بشكلها المتماسك بسبب قوة تجاذب جزيئاتها. ولا يتماسك السائل كي يأخذ شكل هندسيا وإنما يأخذ شكل الوعاء الصلب الذي يحويه بسبب ضعف قوى التجاذب بين جزيئاته. أما قوى تجاذب الغاز فهي ضعيفة جدا بسبب تباعد جزيئاته وعليه فإن الغاز يملأ الوعاء الذي يحويه من مميزات المائع أيضا قابليته نقل الضغط المسلط عليه لجميع نقاطه في الاتجاهات جميعا بالتساوي [1][2]. ومن أهم الفوارق بين السوائل والغازات تلك الموضحة في الجدول (I-1).

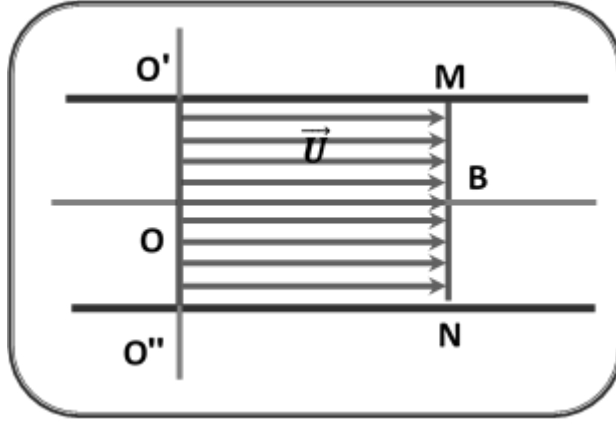
جدول (I-1) مقارنة بين الغازات والسوائل [1].

الغازات	السوائل
الجزيئات متباعدة ولها حركة عشوائية في جميع الاتجاهات. قابلة للانضغاط. تتمدد بلا حدود عند إزالة الضغط الخارجي. تتغير الكثافة بتغير الحرارة والضغط.	الجزيئات متماسكة مما يجعلها قابلة للسكب والجريان. غير قابلة للانضغاط نسبيا. لا تتمدد بلا حدود عند إزالة الضغط الخارجي. تغير طفيف على الكثافة عند تغير الحرارة والضغط ولها سطح حر.

2.2 أنواع الموائع:

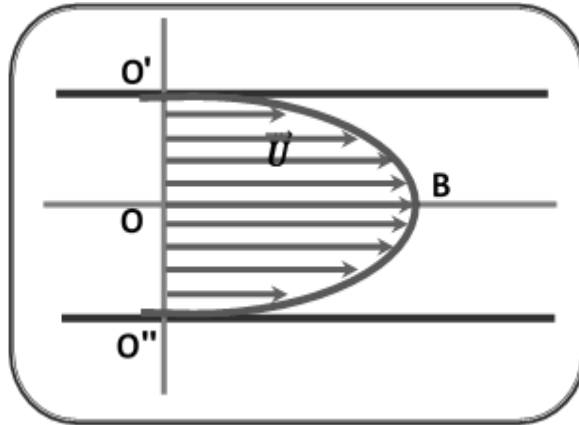
1.2.2 الموائع المثالية والموائع الحقيقية

أ. موائع مثالية: وهي موائع عديمة الاحتكاك، أي أن معامل لزوجتها معدوم، وأن القوى الداخلية عند أي مقطع داخل المائع تكون دائما عمودية على ذلك المقطع حتى أثناء الحركة، وهي بالتالي لا تقاوم الحركة ولا يجب بذل أي قوة للتغلب عليها ومثل هذا المائع غير موجود في الواقع [1][2][3][4].



الشكل (1-I): توزيع السرعة لمائع مثالي

ب. موائع حقيقية (سوائل و غازات): تحدث قوى القص المماسية دائما أثناء حركة المائع وبالتالي تقاوم الحركة و تؤدي إلى وجود الاحتكاك في المائع، وتكون قوى الاحتكاك هذه ناتجة خاصية تسمى خاصية اللزوجة [1][2][3][4].



الشكل (2-I): توزيع السرعة لمائع حقيقي

2.2.2. الموائع القابلة للانضغاط والموائع الغير قابلة للانضغاط

أ. الموائع القابلة للانضغاط: وتتمثل في الغازات حيث الكتلة الحجمية للمائع تتغير بتغير الضغط أما الكثافة ثابتة [21][3][4].

ب. الموائع الغير قابلة للانضغاط: و تتمثل في السوائل حيث أن الكتلة الحجمية للمائع ثابتة والكثافة تتغير تغير طفيف بالنسبة للضغط [1][2][3][4].

3.2 الخواص الفيزيائية للموائع:

1.3.2. اللزوجة

هي مقدار يعبر عن مقاومة المائع لقوى القص أو التشوه الذي يغير شكله حيث تقوم قوى القص بفصل الجزيئات عن بعضها البعض فتنتج قوى الاحتكاك، وتزداد هذه الأخيرة كلما زادت قوى التماسك (لزوجة المائع)، كما أن اللزوجة تحدد سهولة الانسياب الموائع (السائلة - الغازية) ونمط جريانه وهي نوعان [1][2]:

أ. اللزوجة المطلقة (الحركية): رمزها ϑ وحدتها ($m^2.s^{-1}$) و تمثل مقياس لمقاومة السائل لتشوه إجهاد القص بسبب الاحتكاك بين جزيئاته [1][2].

ب. اللزوجة الديناميكية (التحريكية): رمزها μ وحدتها ($kg.m^{-1}.s^{-1}$) و تمثل مقياس لمقاومة السائل للتدفق و القص تحت تأثير قوة مؤثرة وهي تؤثر على سلوك الموائع في ظروف فيزيائية مختلفة. هناك علاقة تربط بين اللزوجة الديناميكية واللزوجة المطلقة [1][2]:

$$\mu = \vartheta \times \rho \quad (1-I)$$

من أهم العوامل التي تؤثر على درجة اللزوجة، التغير في درجة الحرارة، ومعدل تغير إجهاد القص، وحالة الانسياب والدفق للمائع، وخواص المائع. أما بالنسبة لدرجة الحرارة فتقل لزوجة السوائل بازدياد درجة الحرارة، غير أن لزوجة الغازات تزداد بازدياد درجة الحرارة. ومن المعلوم أن درجة اللزوجة لسائل معين على درجة حرارة ثابتة من الخواص الطبيعية للسائل. غير أن علاقة الإجهاد ومعدل القص لعدة سائل ليست نسبة بسيطة.

2.3.2. الكتلة الحجمية:

تعرف الكتلة الحجمية للمائع ρ على أنها كتلة وحدة الحجم ووحدتها ($kg.m^{-3}$). كما أنها خاصية ديناميكية حيث تتغير قيمتها وفق أبعادها وكتلتها، أما درجة الحرارة والضغط تأثيرهما ضئيل على الكتلة الحجمية وتحسب وفق العلاقة [1][2]:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-I)$$

3.3.2. اجهادات القص في الموائع المتحركة

تتولد اجهادات القص في المائع أثناء حركته أو جريانه فقط لذا تعد من خصائص الجريان كالضغط والسرعة، وهذا يعني انعدام اجهادات القص عندما يكون المائع في حالة سكون أو عندما تكون سرعة الجريان متساوية في جميع نقاطه. لذا يمكن تعريف اجهاد القص τ بأنه القوة المؤثرة F في مساحة السطح A حيث [1][2]:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (3-1)$$

يقاس اجهاد القص بوحدة $(N.m^{-2})$.

4.3.2. الوزن النوعي (الثقل النوعي)

الوزن النوعي γ هو ثقل مائع وحدة الحجم وحدته $(N.m^{-3})$ وأبعاده هي أبعاد القوة مقسومة على الحجم حيث [1][2][3]:

$$\gamma = \frac{mg}{V} \quad (4-1)$$

5.3.2. الكثافة

الكثافة d وهي النسبة بين الكتلة الحجمية للمادة والكتلة الحجمية للماء حيث تقدر كثافة الماء I أما الزئبق [1][2][3].

6.3.2. الحجم النوعي

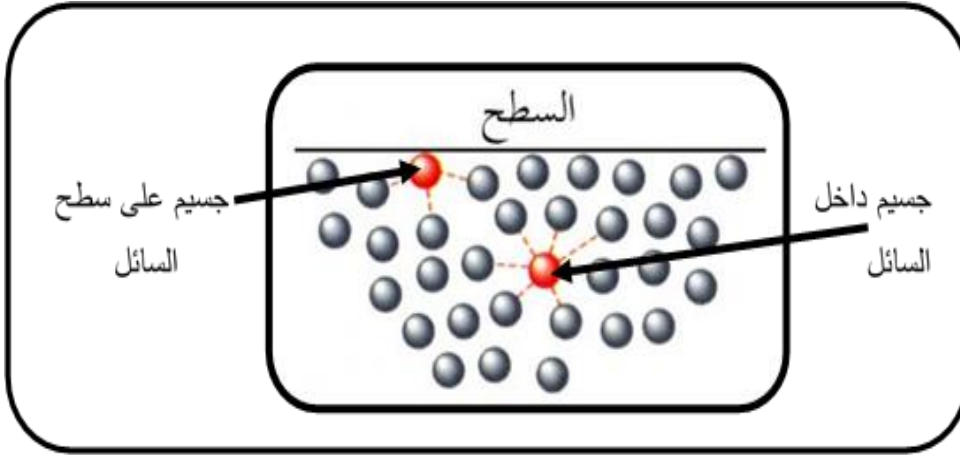
الحجم النوعي v هو مقلوب الكتلة الحجمية وحدته $(m^3.kg^{-1})$ حيث:

$$v = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{m} \quad (5-1)$$

7.3.2. التوتر السطحي

تنشأ قوة الشد السطحي من التغير في قوى التجاذب بين الجزيئات الداخلية للسائل حيث أن كل جزيء في معظم السوائل يتأثر بقوة التجاذب المتساوية و من جميع الاتجاهات بواسطة جزيئات السائل المحيطة به و لذا تكون القوى المؤثرة عليه متزنة أي محصلة القوى معدومة، أما عند السطح فتسحب جزيئات السطح بواسطة الجزيئات الداخلية للسائل ويعود ذلك إلى نصف الجزيء يقع فوق سطح السائل وبذلك يكون عدد الجزيئات المنجذبة أقل من تلك الموجودة في الأسفل وهنا تكون محصلة قوى الجذب إلى داخل السائل وكلما زاد اقتراب الجزيء من السطح فإن حالة عدم الاتزان تزداد حتى تبلغ قيمتها العظمى عندما يكون الجزيء على السطح، والعلاقة

بين ظاهرة التوتر السطحي ودرجة الحرارة علاقة عكسية، فكلما ارتفعت درجة الحرارة قل التوتر السطحي للسائل [13]. كما هو مبين في الشكل (3-1).



الشكل (3-1): التوتر السطحي [7]

8.3.2. الانضغاطية

عند تسليط ضغط خارجي على مائع فإن ضغطه يتغير حيث أن قابلية السوائل للانضغاط أقل بكثير من قابلية الغازات، وتعرف بدلالة متوسط معامل المرونة الحجمي \bar{K} حيث تحسب وفق المعادلة التالية [13]:

$$\bar{K} = - \frac{(P_2 - P_1)}{\frac{V_2 - V_1}{V_1}} \quad (6-I)$$

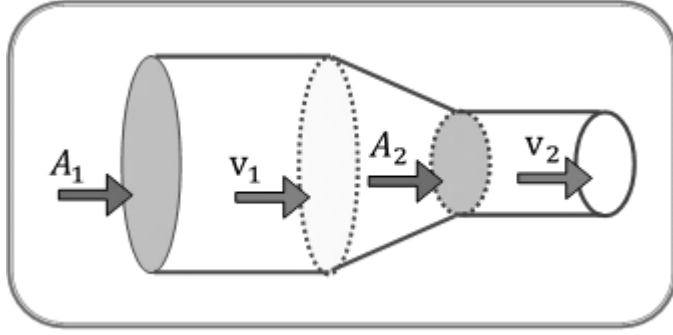
V_1 و V_2 حجم الماء عند الضغط P_1 و P_2 على التوالي.

- الإشارة (-) تشير إلى أن زيادة الضغط تؤدي إلى انخفاض الحجم.

3. المعادلات الأساسية في ميكانيك الموائع

1.3 معادلة الاستمرارية (حفظ الكتلة)

إن معادلة الاستمرارية تعبر على أنه عند سريان المائع تكون العملية مستمرة والكتلة التي تمر عبر أي مقطع في وحدة الزمن تكون محفوظة، علماً أن نوع الانسياب معلوماً في بعد أو بعدين أو ثلاث أبعاد [1][2][3]. وبما أن الكتلة محفوظة فإن كتلة المائع التي تدخل من أحد طرفي الأنبوب تكون نفسها التي تخرج من الطرف الآخر للأنبوب خلال فترة زمنية محددة وهذا هو نص نظرية الاستمرارية والتي تطبق على الانسياب المستقر القابل للانضغاط أو الغير قابل للانضغاط داخل حدود ثابتة [1][2][3].



الشكل (4-1): أنبوب تيار

يمكن كتابة معادلة الاستمرارية (قانون حفظ الكتلة) بحيث يكون معدل السريان الكتلي ثابتا عبر جميع المقاطع لجريان دائم داخل أنبوب تيار أي أن [1][2][3][4]:

$$m = \rho_1 \times A_1 \times v_1 = \rho_2 \times A_2 \times v_2 \quad (7-I)$$

وفي حالة الموائع الغير قابلة للانضغاط تكون الكتلة الحجمية ثابتة ومنه:

$$A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 \quad (8-I)$$

ويمكن كتابة معادلة الاستمرارية بشكلها التفاضلي كما يلي:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{v}) = 0 \quad (9-I)$$

و في حالة خاصة عندما يكون الجريان دائما أي $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ فيكون:

$$\text{div}(\rho \vec{v}) = 0 \quad (10-I)$$

أما في حالة الجريان الغير قابل للانضغاط يكون:

$$\text{div}(\vec{v}) = 0 \quad (11-I)$$

أي

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (12-I)$$

2.3 معادلة برنولي

هي معادلة ذات أهمية لاستخراج معادلة الطاقة الكلية لمائع متحرك داخل أنبوب وترتكز أساسا على مجموع الطاقة الكلية التي يحملها هذا المائع من طاقة كامنة، طاقة حركية وطاقة الضغط المسلط من طرف المائع على الأنبوب، وتتص معادلة برنولي في حالة الموائع المثالية على أنه مجموع طاقة الضغط والطاقة الحركية

والطاقة الكامنة لأي جسم مائع ما يتحرك في مسار معين يبقى ثابتا عند أي مقطع على طول ذلك المسار إذا لم يكن هنالك تبادل طاقي بين المسار والمحيط [1][2][3][4]..

ويمكن كتابة معادلة برنولي عند تطبيقها بين نقطتين تقعان على نفس خط التيار في المائع بالصيغة التالية:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2}{2g} + Z_2 \quad (13-I)$$

أو على الشكل:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2}{2g} + Z_2 \quad (14-I)$$

وفي حالة الموائع الحقيقية يمكن تعميم معادلة برنولي بإدخال فواقد الشحنة أو ما يسمى فواقد الطاقة ΔH ، علما أنها مجموع الفواقد الخطية على طول الأنبوب و الثانوية في الوصلات [6].

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2}{2g} + Z_2 + \Delta H \quad (15-I)$$

3.3 معادلة نافير - ستوكس

تعتبر معادلات نافير - ستوكس من أهم المعادلات الفيزيائية التي تصف العديد من الظواهر في عدة مجالات بحثية وتطبيقية، هي معادلات لا خطية تصف حركة الموائع النيوتينية إذ تحدد حركة المائع مثل حركة الهواء، التيارات البحرية، جريان السوائل في المجاري والأنابيب وانتشار الغازات حول الأجسام الطائرة [1][2][3][4].

أخذت هذه المعادلات تسميتها من الباحثين الفيزيائيين "كلود نافير" و"جورج جابريل ستوكس" في القرن التاسع عشر، وهذه المعادلات ناتجة عن تطبيق قانون نيوتن الثاني على حركة الموائع، عند افتراض أن اجهاد المائع هو مجموع انتشار اللزوجة المتناسب مع تغير السرعة وتغير الضغط [1][2][3][4]..

الصيغة العامة لمعادلات نافير - ستوكس عند تطبيق قانون نيوتن الثاني واسقاطها على المحاور الثلاثة:

$$\frac{du}{dt} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (16-I)$$

$$\frac{dv}{dt} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (17-I)$$

$$\frac{dw}{dt} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (18-I)$$

- $\frac{du}{dt}$ يمثل التسارع الكلي.
- $\frac{\partial u}{\partial t}$ يمثل التسارع المحلي.
- $u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z}$ يمثل التسارع الحملية أو الانتقالي.
- ϑ معامل اللزوجة الحركية.
- (x, y, z) تمثل الاتجاهات.
- (X, Y, Z) تمثل مركبات قوى الحجم لوحدة الكتلة.

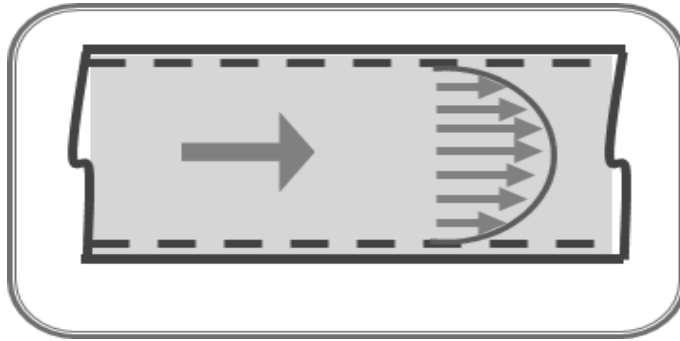
4. الموائع في حالة حركة

1.4 أنواع انسياب الموائع

الانسياب هو حركة الموائع تتمثل في سريان السوائل وانتشار الغازات، حيث عند انسياب مائع داخل أنبوب فإنه يتعرض لمقاومة ناتجة عن الاحتكاك واللزوجة حيث ميز العالم الفرنسي "رينولدز" في تجربة أجراها عام 1883م نوعان من الانسياب هما [1][2][3][4]:

1.1.4 الانسياب الرقائقي (الهادئ) الطبقي

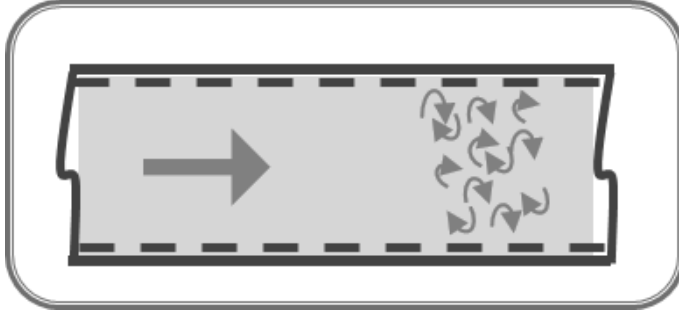
حيث يتميز المائع أثناء حركته داخل الأنبوب بسرعة متوسطة منخفضة إذ تتحرك جزيئات المائع بصورة منتظمة وفق مسارات متوازية مختلفة لا تتقاطع وتحافظ بمواقعها النسبية في مختلف المقاطع [1][2][3][4]. كما في الشكل (I-5).



الشكل (I-5): الانسياب الرقائقي

2.1.4. الانسياب المضطرب (الدوامي):

يتميز المائع أثناء حركته بشكل غير منتظم داخل أنبوب بسرعة متوسطة مرتفعة فتتشتت تيارات دوامية إذ تتحرك الجزيئات وفق مسارات متقاطعة [1][2][3][4]. كما هو موضح في الشكل (I-6).



الشكل (I-6): الانسياب المضطرب

3.1.4. الانسياب الانتقالي

ويطلق عليه بالانسياب المختلط كونه يمثل المرحلة التي يتم فيها الانتقال من الانسياب الطبقي إلى الانسياب المضطرب أو العكس وهذا يعود إلى تغير الظروف التي تسمح بالتحول من طور إلى آخر [3][4].

2.4 التدفق الحجمي والتدفق الكتلي:

- التدفق الحجمي رمزه Q_v وحدته ($m^3.s^{-1}$) يعبر عن حجم المائع الذي يقطع المساحة العمودية على اتجاه جريان مائع في أنبوب بوحدة زمنية معينة و يحسب وفق العلاقة التالية [2]:

$$Q_v = S \times v \quad (19-I)$$

S: مساحة المقطع.

v : سرعة المائع.

- التدفق الكتلي رمزه m أو Q_m وحدته ($kg.s^{-1}$) تعبر عن مقدار الكتلة التي تقطع المساحة العمودية على اتجاه جريان مائع في أنبوب بوحدة زمنية محددة و يحسب وفق العلاقة التالية [2]:

$$Q_m = \rho \times Q_v \quad (20-I)$$

3.4 رقم رينولدز:

1.3.4 رقم رينولدز

رمزه Re وهو يمثل النسبة بين قوى القصور الذاتي و قوى اللزوجة حيث عند جريان مائع في أنبوب بسرعة معينة تظهر قوتان تؤثران على هذا المائع قوة القصور الذاتي وهي تتناسب مع الكتلة الحجمية ومربع السرعة، وقوة أخرى تقاوم اجهاد القص و هي قوة اللزوجة و تتناسب طرديا مع السرعة و اللزوجة و عكسيا مع قطر الأنبوب . يمكن تحديد رقم رينولدز وفق المعادلة التالية [1][2][3][4]:

$$R_e = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad (21-I)$$

- ρ الكتلة الحجمية للمائع.
 - v السرعة المتوسطة للمائع.
 - D قطر الأنبوب.
 - μ معامل اللزوجة الديناميكية للمائع.
 - $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ معامل اللزوجة الحركية علما أن: $\nu = \frac{\mu}{\rho}$.
- وبالتالي يمكن كتابة رقم رينولدز بالعلاقة:

$$R_e = \frac{v \times D}{\mu} \quad (22-I)$$

2.3.4. رقم رينولدز الحرج

إن القيمة 2100 لرقم رينولدز تعبر عن القيمة الفاصلة بين الانسيابيين الرقائق والمضطرب داخل أنبوب إذ أن قيمة رقم رينولدز الحرج تتغير بشكل طفيف وتكون أكبر من 2100 في الأنبوب الذي يتناقص مقطعه وتكون أقل من 2100 إذا تزايد مقطع الأنبوب وتكون شبه ثابتة في الأنابيب ذات المقطع الدائري، هذا يعني كلما ازداد قطر الأنبوب يصبح الجريان أقرب إلى المضطرب عند سرعات أدنى والعكس صحيح كما أن الجريان يتأثر بخشونة أو نعومة سطح الأنبوب إذ ينخفض رقم رينولدز الحرج كلما ازدادت الخشونة حيث ينخفض رقم رينولدز الحرج إلى 1000 في الأنابيب زائدة الخشونة أم الأنابيب العادية يمكن اعتماد رقم رينولدز الحرج هو 2000 [4].

وبالتالي يحدد نوع السريان وفق رقم رينولدز فعندما تكون [4]:

$$R_e \leq 2100 \text{ فالانسياب رقائقيا.}$$

$$2000 \leq R_e \leq 4000 \text{ فالانسياب انتقاليا.}$$

$$R_e \geq 4000 \text{ فالانسياب مضطربا.}$$

4.4 فواقد الطاقة

1.4.4. فواقد الطاقة الناتجة عن الاحتكاك داخل الأنابيب مستديرة المقطع:

h_f تمثل الطاقة المفقودة لمائع غير قابل للانضغاط أثناء جريانه داخل الأنبوب، ويعبر عن كمية الطاقة

المفقودة بالاحتكاك بالمعادلة التالية [10][11][12]:

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (23-I)$$

f يمثل معامل الاحتكاك وهو لا بعدي وهو دالة لرقم رينولدز [10][11][12].

$$f = \frac{64}{R_e} \quad (24-I)$$

للانسحاب الرقائقي

- L : يمثل طول الأنبوب.
- D : يمثل قطر الأنبوب.
- v : يمثل سرعة جريان المائع.
- g : الجاذبية الأرضية.

يطلق على المعادلة المذكورة أعلاه بمعادلة "دارسي" إذ تستخدم لإيجاد الطاقة الكامنة المفقودة في الأنابيب ذات المقاطع الدائرية و المملوءة كاملة بمائع و الغير قابلة للانضغاط ، و الطاقة الكامنة المفقودة تمثل طاقة الضغط المفقود، حيث ينخفض ضغط المائع عند جريانه بسبب الاحتكاك ويعبر عن طاقة الضغط بدلالة طاقة

$$\text{السرعة} \left[\frac{v^2}{2g} \right] \text{ [10][11][12].}$$

2.4.4. فواقد الطاقة الثانوية

هناك عدة أسباب وأشكال فواقد الطاقة من أهمها الاحتكاك، وأسباب محدودة الأثر منها: تغير مساحة مقطع أو طول أنبوب، الأكواع، الصمامات والصنابير. فعندما يكون الأنبوب قصيرا فان الفواقد الثانوية تصبح لها أهمية مقارنة بفواقد الاحتكاك التي تكون لها أهمية في الأنابيب الطويلة حيث تصبح الفواقد الأخرى مهملة في الأنابيب الطويلة لأن قيمتها صغيرة جدا مقارنة بفواقد الاحتكاك. وعند تغير سرعة جريان مائع إما في المقدار أو الاتجاه تتكون تيارات دوامية فينتج عن ذلك فقد في الطاقة يزيد من فقد الاحتكاك لنفس طول الأنبوب ويتناسب مقدار الفقد مع مقدار تغير السرعة، ويمكن التعبير عنه بالمعادلة التالية [14]:

$$h_s = K \frac{v^2}{2g} \quad (25-I)$$

- K : معامل الفاقد الثانوي.

5. الخاتمة

في هذا الفصل أدرجت المفاهيم، المقادير والمعادلات التي تعتبر من أساسيات ميكانيكا الموائع التي يجب أن يتعرفها الباحث، التي سيرتكز عليها عملنا في هذا البحث، وفي الفصل الثاني سنتطرق إلى مفاهيم تخص أنبوب فنتوري.

الفصل الثاني

أنبوب فنتوري

II - أنبوب فنتوري

1. مقدمة

عند وضع أحد أصابع اليد عند نهاية خرطوم المياه وإحداث تضيق في الخرطوم، فإن سرعة المياه ستزداد نتيجة لتقليل المساحة التي ستمر منها المياه وفي المقابل سيقل ضغطها، حيث إن التضيق الناشئ سيعمل على زيادة سرعة المياه وتقليل ضغطها [15][16].

وعند دخول الهواء في مقطع ضيق موجود بين الأنبوية المرتفعة أو بين ناطحات السحاب بحكم أن الأكسجين من الغازات أي أنه مائع ينطبق عليه ما ينطبق على السوائل، وبالتالي سترتفع سرعته نتيجة دخوله إلى مكان ضيق، وهذا ما يفسر أن سرعة الرياح في المناطق المسكونة تكون أكبر من غيرها [15][16].
تعتبر الظاهرة السابقة الذكر من التطبيقات التكنولوجية التي تحدث في الحياة اليومية، ومن خلالها سعى الباحثون إلى تطوير هذه الظاهرة إلى نموذج يمكن استخدامه وهو نموذج أنبوب فنتوري الذي استخدم في عدة تطبيقات منها [15]:

- مضخة الوقود النفاثة هي جهاز فعال يستخدم لسحب الوقود من جانب واحد من خزان الوقود إلى الجانب الآخر.

- مقياس فنتوري ويأتي الجهاز بأحجام مختلفة ليتناسب مع التطبيق العملي الذي صمم لأجله وهو الشكل الأبسط والأكثر دقة لقياس معدل تدفق السوائل المختلفة بقياس التغير في الضغط، ويستخدم في:

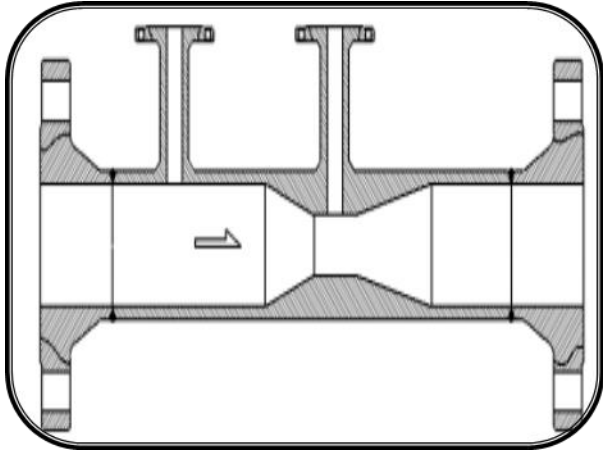
- إنتاج النفط وتكريره.
- معالجة المياه وتوزيعها.
- معالجة الغاز وتوزيعه.
- الصناعات الكيميائية والبتروكيمياوية.

2. مقياس فنتوري "Venturi Meter"

1.2. مقياس فنتوري

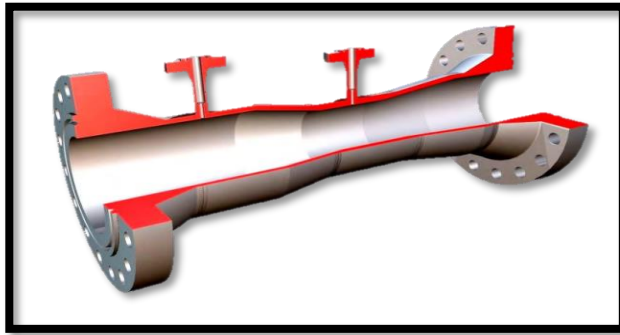
أنبوب فنتوري هو جهاز اكتشف من طرف العالم الإيطالي "جيوفاني باتيستا فنتوري" Giovanni Battista Venturi " الذي أطلق عليه اسمه، حيث لاحظ أن ضغط المائع الجاري في الأنبوب ينخفض عند حدوث تضيق في مقطع الأنبوب فاخترع هذا الجهاز الذي يستخدم لقياس معدل تدفق المائع داخل الأنبوب، إذ يتم ذلك من خلال أنبوب قصير يشتمل على قنوات يتدفق المائع من خلالها ويوجد في منتصفها حلقة ضيقة،

حيث تزداد سرعة المائع عند دخوله في هذه الحلقة وينخفض ضغطه [15][16][17]. كما هو في الشكل (II-2)-
1) والشكل (II-2).



الشكل (II-2): مخطط لأنبوب فنتوري [15]

الشكل (II-1): أنبوب فنتوري [15]



الشكل (II-3): مقطع لأنبوب فنتوري [15]

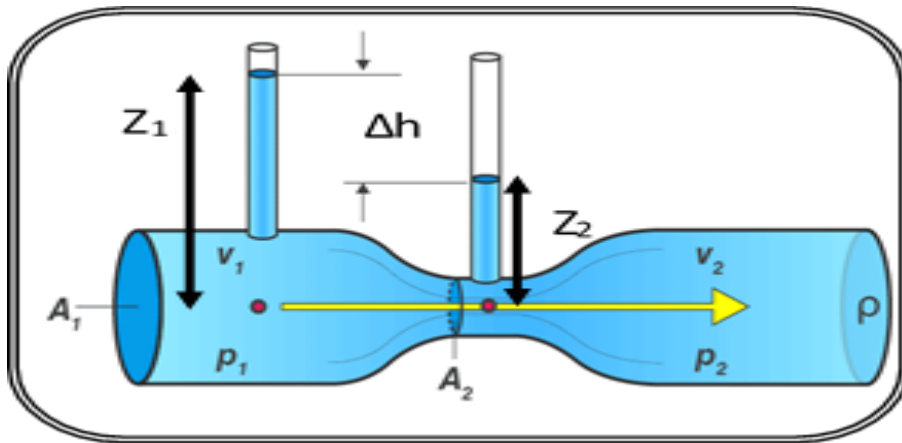
2.2. مبدأ عمل جهاز فنتوري

تعتبر المعادلات الأساسية في ميكانيك الموائع معادلة برنولي ، معادلة الاستمرارية ومعادلة نافير - ستوكس من المعادلات التي يعتمد عليها جهاز فنتوري بشكل أساسي إذ يرتكز عمل الجهاز بشكل أساسي على إنشاء فرق ضغط للأنبوب الداخلي، وذلك عن طريق تقليل مساحة المقطع العرضي عند مرور المائع المتدفق من خلاله، ثم يتم قياس الاختلاف في الضغط عن طريق جهاز قياس الضغط، المانومتر (Manomètre) ، كما يتم تحديد معدل تدفق الموائع أو التفريغ الناتج من الأنبوب، وينقسم أنبوب فنتوري إلى 3 أقسام، وهي: قسم المدخل ويكون مخروطيًا متقاربًا، وقسم المنتصف وهو عبارة عن حلقة أسطوانية ضيقة، والقسم الثالث هو المخرج وهو قسم مخروطي متباعد [16][17]. كما هو موضح في الشكل (II-4).

يستخدم أنبوب فنتوري لقياس الضغط داخل الأنبوب وضبط معدل تدفق المائع ومعرفة سرعة الجريان والكمية اللازمة نقلها من المائع، ويشترط أن تكون مساحة مقطع أنبوب فنتوري أقل من مساحة مقطع الأنبوب المستخدم في نقل المائع، كما أن أنبوب فنتوري نفسه ستقل مساحته بحكم الطريقة التي صُمم لأجلها، وبالتالي سيصبح هناك ثلاث سرعات مختلفة للمائع نتيجة لتغير المساحات، حيث أن لأنبوب النقل سرعة معينة، ولأنبوب فنتوري سرعة أخرى في المنطقة التي يضيق فيها مقطع الأنبوب، ويتغير السرعة سيتغير الضغط في كل منطقة، مما يؤدي إلى انتقال الموائع من الأنبوب ذو الضغط الأقل إلى الأنبوب الأعلى ضغطاً [15][16][17].

3.2. طريقة قياس كمية التدفق باستخدام الجهاز

يعتمد مبدأ عمل جهاز فنتوري على معادلة برنولي، ويتم إيجاد كمية التدفق من خلال ثلاث معادلات مختلفة، وهي: معادلة برنولي، ومعادلة حفظ الطاقة، ومعادلة الاستمرارية، حيث يقلل القسم الضيق في الأنبوب من ضغط السائل للحفاظ على الطاقة وتزداد سرعته للحفاظ على الاستمرارية، فهو بذلك يوازن اكتساب الطاقة الحركية بانخفاض الضغط أو قوة تدرج الضغط [16][17]. كما هو موضح في الشكل (3-II)



الشكل (3-II): رسم تخطيطي للمتغيرات أنبوب فنتوري [15]

من خلال تطبيق معادلة برنولي:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2}{2g} + Z_2 \quad (1-II)$$

$$Z_1 - Z_2 = \Delta h = \frac{v_2 - v_1}{2g} \quad (2-II)$$

ومن معادلة الاستمرارية لدينا:

$$Q_{v1} = Q_{v2} \quad (3-II)$$

أي أن:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (4-II)$$

ومنه:

$$v_1 = \frac{A_2}{A_1} v_2 \quad (5-II)$$

من المعادلة (2-2) والمعادلة (5-2) نجد:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g\Delta h}{1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}}} \quad (6-II)$$

- Q_{v1} : التدفق الحجمي عند النقطة 1.
- Q_{v2} : التدفق الحجمي عند النقطة 2.
- Z_1 : ارتفاع السائل عند النقطة 1.
- Z_2 : ارتفاع السائل عند النقطة 2.
- A_1 : مساحة مقطع الأنبوب عند النقطة 1.
- A_2 : مساحة مقطع الأنبوب عند النقطة 2.
- g : الجاذبية الأرضية.
- Δh : الفارق في الارتفاع

بُنيت هذه المعادلة على فرضيات مثل عدم وجود احتكاك وعدم تعرض التدفق للضغط، لذا فإن معدل التدفق الفعلي $Q_{v,réel}$ عن معدل التدفق النظري $Q_{v,th}$ المحسوب في المعادلة أعلاه، مما يؤدي إلى حساب نسبة تُسمى بمعامل التدفق C_d ويُعبّر عنها من خلال المعادلة التالية [16][17]:

$$C_d = \frac{Q_{v,réel}}{Q_{v,th}} \quad (5-II)$$

3. الخاتمة

في هذا الفصل تم شرح مبدأ عمل مقياس فتوري، والمعادلات الأساسية التي يعتمد عليها في الحسابات العددية وستنطرق في الفصل الموالي إلى التعرف على برامج المحاكاة العددية الذي يوفر لنا الدراسة الرقمية للأجهزة.

الفصل الثالث

معلومات عامة عن البرامج
الرقمية المعالجة

III معلومات عامة عن البرامج الرقمية المعالجة

1. مقدمة

إن تدفقات الموائع في النظامين الرقائقي والمضطرب يتم وصفها من خلال نظام معادلات الحجم المحدود. وهكذا فإن جميع الظواهر الفيزيائية يحكمها هذا النظام المشكّل بمعادلات الاستمرارية وكمية الحركة والطاقة، والتي يجب حلها لمعرفة خصائص المجال الحراري وحقل التدفق. ولكن من المستحيل عمليا العثور على حل تحليلي دقيق لمثل هذه الأنظمة لأن المعادلات المذكورة أعلاه معقدة للغاية، ولهذا كان من الضروري أن نلجأ إلى البحث على أفضل طريقة رقمية مناسبة للحصول على أفضل نتائج تقريبية. في هذا الفصل سنقوم بذكر عموميات البرامج الرقمية المستخدمة في البحث [18].

2. المعالجة الرقمية:

1.2. اختيار الطريقة الرقمية

إن الطريقة الرقمية تسمح بالحصول على حل رقمي للمشكلة قيد الدراسة، حيث يجب تحويل المعادلات التفاضلية ذي النموذج الرياضي بواسطة عملية التقدير إلى صيغة سهلة للعمليات الرقمية. هذا الشكل ما هو إلا نظام المعادلات الجبرية التي تم الحصول عليها بعد التقدير [18].

في ميكانيك الموائع تستخدم طريقة الفرق المحدود والحجم المحدود من بين تقنيات وطرق التمييز الأكثر استخداماً في ميكانيكا الموائع، يمكننا ذكر طريقة الفرق المحدود، وطريقة الحجم المحدود، وطريقة العناصر المحدودة. بالنسبة لدراستنا الحالية، اخترنا طريقة الحجم المحدود لأنها تتمتع بمزايا كبيرة من حيث بساطتها، وتضمن الحفاظ على الكتلة والزخم في كل حجم تحكم وفي جميع أنحاء المجال الحسابي، ويمكن تطبيقها على الهندسة المعقدة [18].

2.2. مبدأ طريقة الحجم المحدود:

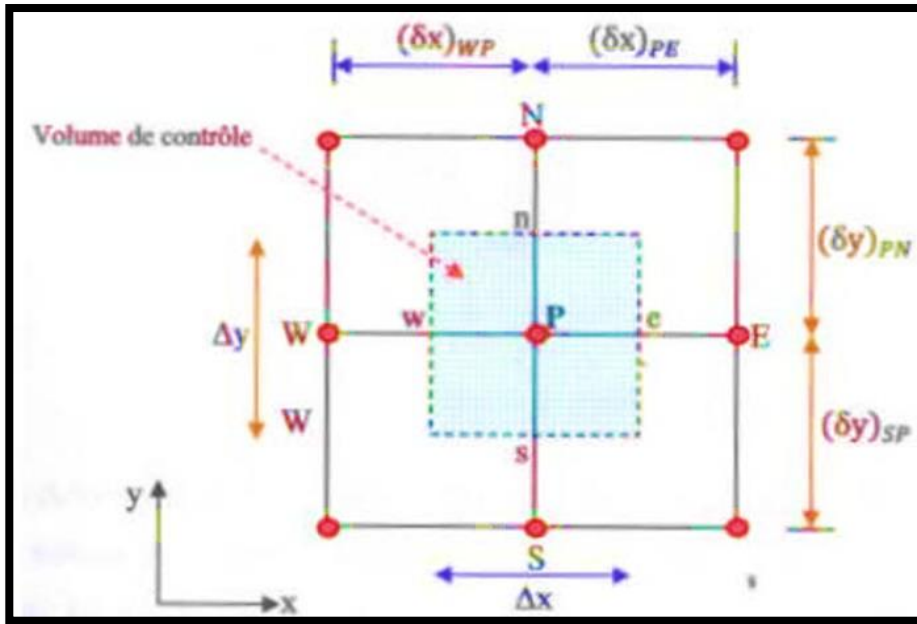
تتكون طريقة الحجم المحدود من تحويل المشتقات إلى تعبيرات جبرية يسهل حلها. تتم عملية الحل بهذه الطريقة عبر أربع خطوات رئيسية [18]:

- أ. إنشاء شبكة مجال الدراسة، يتم ذلك عن طريق وضع عدد من العقد في هذا المجال وإنشاء حجم محدود أو حجم تحكم حول كل عقدة. يتم تحديد حجم التحكم هذا بواسطة الواجهات.
- ب. قم بتكامل المعادلة التفاضلية الجزئية على كل حجم تحكم.

ج. اختر ملف تعريف التباين للكمية التي يجب العثور عليها (على سبيل المثال: درجة الحرارة، والضغط، وما إلى ذلك) بين عقدتين متتاليتين لتكون قادرًا على تقييم المشتقات عند الواجهة. وهذا يقودنا إلى الحصول على معادلة جبرية بسيطة تسمى "المعادلة المنفصلة" والتي تكون خاصة بكل عقدة في المجال. لذا، إذا كان مكونًا من n عقدة، فسيكون لدينا n معادلة جبرية لحلها، وبالتالي يوجد عدد من العقد يساوي حجم التحكم، ومن هنا يأتي أداء طريقة الحجم المحدود مقارنة بالطرق الأخرى [18].

د. حل نظام المعادلات التي تم الحصول عليها بإحدى طرق حل المعادلات الجبرية الخطية. يتم تقسيم المجال الحسابي إلى عدد محدود من المجالات الفرعية الأولية، والتي تسمى أحجام التحكم. تتكون طريقة الحجم المحدود من دمج المعادلات التفاضلية الجزئية، وتتضمن طريقة الحجم المحدود بشكل أساسي ما يلي [18] [19]:

- تقسيم المجال المعتبر في حجم التحكم.
- الصياغة التكاملية للمعادلات التفاضلية الجزئية.
- اختيار الرسم التخطيطي الذي يمثل تغير الكمية الفيزيائية وتجميع المعادلات المختلفة.
- يجب أن يكون النموذج مستقرًا ومتقاربًا.



الشكل (1-III) محتوى حجم التحكم ثنائي الأبعاد [18].

يتم تقسيم المجال الحسابي إلى عدد محدود من المجالات الفرعية الأولية، والتي تسمى حجم التحكم، كما هو موضح في الشكل (1-III) كل منها يتضمن عقدة تسمى العقدة الرئيسية P، والنقطتان E وW تمثلان الشرق والغرب هما في اتجاه x، بينما النقطتان N وS تمثلان الشمال والجنوب هما في اتجاه y. يتم عرض مستوى التحكم الحجم المحيط بالنقطة P بواسطة الخطوط المتقطعة. تقع وجوه التحكم في مستوى الحجم عند النقطتين e وw في اتجاه x، و n و s في اتجاه y.

3.2. مبدأ ميكانيكا الموائع الرقمية "CFD"

لدراسة مشكلة في ميكانيكا الموائع الرقمية، يجب علينا أن نمر بثلاث مراحل أساسية، وهي [18]:

أ. تعريف المشكلة التي يجب حلها في المعالج "Gambit" وهذا يسمح برسم هندسة النظام. هندسة الشبكات باستخدام خوارزمية الشبكات. وأخيراً، تحديد الشروط الحدية عند حدود المجال وطبيعة السائل [19].
ب. استخدام برنامج "Fluent" للتقسيم المكاني والزمني لمعادلات ميكانيكا الموائع "نافيير-ستوكس" مقترنة بالشروط الحدودية المناسبة. ويتم تحقيق ذلك من خلال عملية تكرارية باستخدام العديد من المخططات الرقمية [20].

ج. وأخيراً، مرحلة ما بعد المعالجة التي تتكون من تصور الهندسة وشبكة المجال، ولكن الأهم من ذلك هو عرض النتائج التي تم الحصول عليها من حيث الخطوط العريضة والرسوم البيانية.

4.2. معادلات الانتقال

بافتراض التدفق صفائحي وغير قابل للانضغاط والمتساوي الحرارة. نكتب معادلات:
الاستمرارية وكمية الحركة على طول المحورين x و y على النحو التالي:
معادلة الاستمرارية:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1-III)$$

معادلة كمية الحركة:

على طول المحور X

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2-III)$$

على طول المحور Y

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3-III)$$

- U السرعة على المحور X.
- v السرعة على المحور Y.
- P الضغط.
- ρ الكتلة الحجمية.
- ν اللزوجة الحركية.

3. شرح عام برنامج المحاكاة الرقمي المستخدم

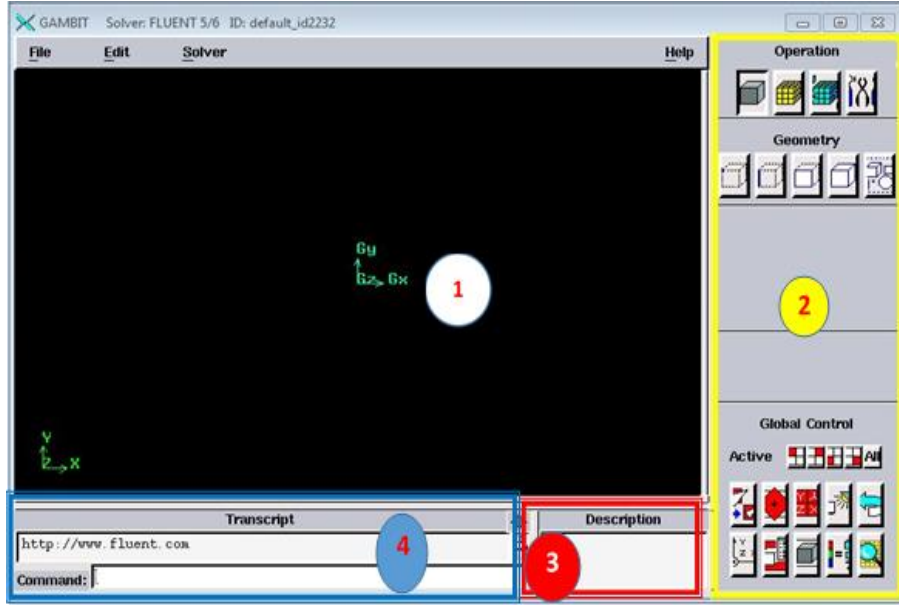
1.3. شرح عام لبرنامج "Gambit 2.3.16"

Gambit هو برنامج "DAO" (Design Assist by Ordinateur) التصميم بمساعدة الكمبيوتر وإنشاء الشبكات. إنه يسمح لك بإنشاء هندسة ثنائية الأبعاد أو ثلاثية الأبعاد وبناء الشبكة. يتم استخدامه على نطاق واسع في ميدان الصناعة (السيارات والطيران والفضاء وما إلى ذلك) بسبب واجهته الرسومية القوية، كما أنه يسمح بإنشاء جميع أنواع الهندسة المعقدة (ثابتة أو متحركة) المرتبطة بالشبكات الثابتة أو التكيفية [19].

يوضح الشكل (2-3) واجهة البرنامج الرقمي Gambit، والتي تتضمن نافذة رئيسية واحدة، ونافذة رسومية (1)، وقائمة تعليمات (2) على اليسار، مع نافذة معلومات (3) ونافذة المساعدة (4) على الإجراء الحالي.

لبرنامج Gambit ثلاث وظائف:

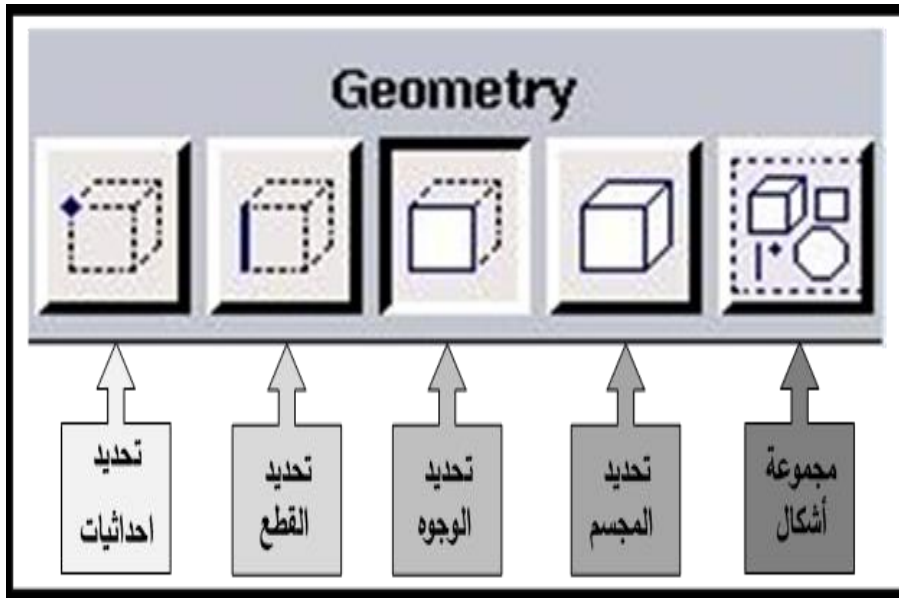
- التعريف بالمشكلة الهندسية (بناء الهندسي).
- الشبكة والتحقق منها.
- تعريف أنواع الشروط الحدية ومجالات الحساب.



الشكل (III-2): واجهة البرنامج الرقمي Gambit 2.3.16

2.3. أيقونات وأوامر في البرنامج الرقمي Gambit 2.3.16

1.2.3. أوامر لبناء الشكل الهندسي: يوضح الشكل (III-3) أيقونة بناء الشكل الهندسي في البرنامج الرقمي Gambit 2.3.16:



الشكل (III-3): أيقونة بناء الشكل الهندسي في البرنامج الرقمي Gambit 2.3.16

2.2.3. أيقونة تعليم النقط: الجدول (III-1) يوضح أيقونات وأوامر لإنشاء والتعديل على النقط في البرنامج الرقمي Gambit:

الجدول (III-1) يوضح أيقونات وأوامر لإنشاء والتعديل على النقط في البرنامج الرقمي Gambit

وصف الايقونة	الأمر	الايقونة
تعيين النقطة وفق احداثيات	إنشاء نقطة	
تغيير موضع النقطة	سحب النقطة	
الربط أو الفصل بين نقاط الشكل الهندسي	ربط /فصل النقاط	
تعديل لون النقطة باستعمال عدة ألوان	لون النقطة	
نقل النقطة أو انشاء نسخة عنها	نقل / نسخ النقطة	
تحويل النقاط الافتراضية إلى نقاط حقيقية والعكس	تحويل النقاط	
عرض معلومات النقطة منها الاحداثيات	استعلام	
حذف النقطة المحددة سواء الافتراضية أو الحقيقية	حذف النقطة	

3.2.3. أيقونة رسم القطع: الجدول (III-2) يوضح أيقونات وأوامر لإنشاء والتعديل على القطع في البرنامج الرقمي Gambit:

الجدول (III-2) يوضح أيقونات وأوامر لإنشاء والتعديل على القطع في البرنامج الرقمي Gambit

الايقونة	الأمر	وصف الايقونة
	إنشاء قطعة	رسم القطعة وفق احداثيات النقاط المحددة
	ربط /فصل القطع	الربط أو الفصل بين قطع الشكل الهندسي
	لون القطعة	تعديل لون القطعة باستعمال عدة ألوان
	نقل / نسخ القطعة	نقل القطعة أو انشاء نسخة عنها
	دمج أو تقسيم القطعة	دمج قطعتين أو تقسيمهما
	تحويل القطعة	تحويل القطع الافتراضية إلى قطع حقيقية والعكس
	استعلام	عرض معلومات القطعة
	حذف القطعة	حذف القطعة المحددة سواء الافتراضية أو الحقيقية

4.2.3. أيقونة اعداد الوجه: الجدول (III-3) يوضح أيقونات وأوامر لإنشاء والتعديل على الوجه في البرنامج الرقمي Gambit:

الجدول (III-3) يوضح أيقونات وأوامر لإنشاء والتعديل على الوجه في البرنامج الرقمي Gambit

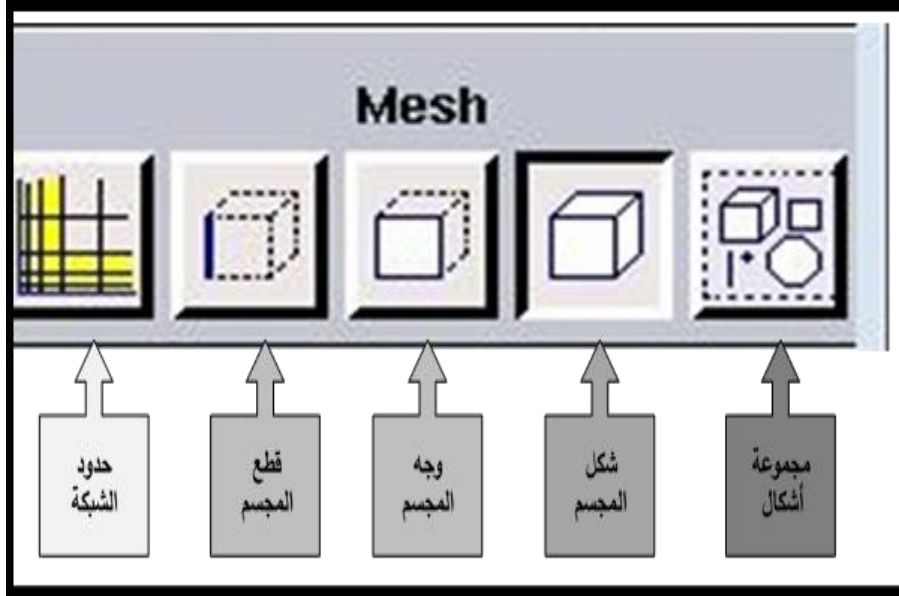
الايقونة	الأمر	وصف الايقونة
	تشكيل الوجه	تشكيل الوجه انطلاق من القطع المحددة
	إنشاء الوجه	انشاء الوجه من الشكل الابتدائي
	عمليات على الوجوه	ترتيب /دمج /تركيب الوجوه
	ربط /فصل الوجوه	الربط أو الفصل بين وجوه الشكل الهندسي
	لون الوجوه	تعديل لون الوجه باستعمال عدة ألوان
	نقل / نسخ الوجه	نقل الوجه أو انشاء نسخة عنه
	دمج أو تقسيم الوجه	تقسيم الوجه و دمج القسمين
	تحويل الوجه	تحويل الوجه الافتراضي إلى وجه حقيقي والعكس
	استعلام	عرض معلومات الوجه
	حذف الوجه	حذف الوجه المحدد سواء الافتراضي أو الحقيقي

5.2.3. أيقونة اعداد المجسم: الجدول (III-4) يوضح أيقونات وأوامر لإنشاء والتعديل على المجسم في البرنامج الرقمي Gambit:

الجدول (III-4) يوضح أيقونات وأوامر لإنشاء والتعديل على المجسم في البرنامج الرقمي Gambit

وصف الايقونة	الأمر	الايقونة
تشكيل مجسم انطلاق من الوجوه المحددة	تشكيل المجسم	
انشاء المجسم من الشكل الابتدائي	إنشاء مجسم	
ترتيب /دمج /تركيب المجسمات	عمليات على المجسمات	
تعديل لون المجسم باستعمال عدة ألوان	لون المجسم	
نقل المجسم أو انشاء نسخة عنه	نقل / نسخ المجسم	
تقسيم المجسم و دمج القسمين	دمج أو تقسيم المجسم	
تحويل المجسم الافتراضي إلى مجسم حقيقي والعكس	تحويل المجسم	
عرض معلومات المجسم	استعلام	
حذف المجسم المحدد سواء الافتراضي أو الحقيقي	حذف الوجه	

6.2.3. أيقونة اعداد الشبكة: يوضح الشكل (III-4) واجهة إعداد الشبكة للشكل المدروس



الشكل (III-4): واجهة إعداد الشبكة للشكل في البرنامج الرقمي Gambit

7.2.3. مواصفات مخطط عنصر الوجه: يحدد Gambit نوع عنصر شبكة السطح، ويرتبط كل عنصر بنوع شبكة، كما هو موضح في الجدول (III-5).

الجدول (III-5) يوضح أنواع شبكات الأسطح في البرنامج الرقمي Gambit

الوصف	الاعداد
تحديد الشبكة تحتوي على عناصر رباعية الأضلاع.	Quad
تحديد الشبكة تحتوي على عناصر ثلاثية الأضلاع.	Tri
تحديد الشبكة تحتوي على عناصر رباعية وثلاثية الأضلاع.	Quad/tri

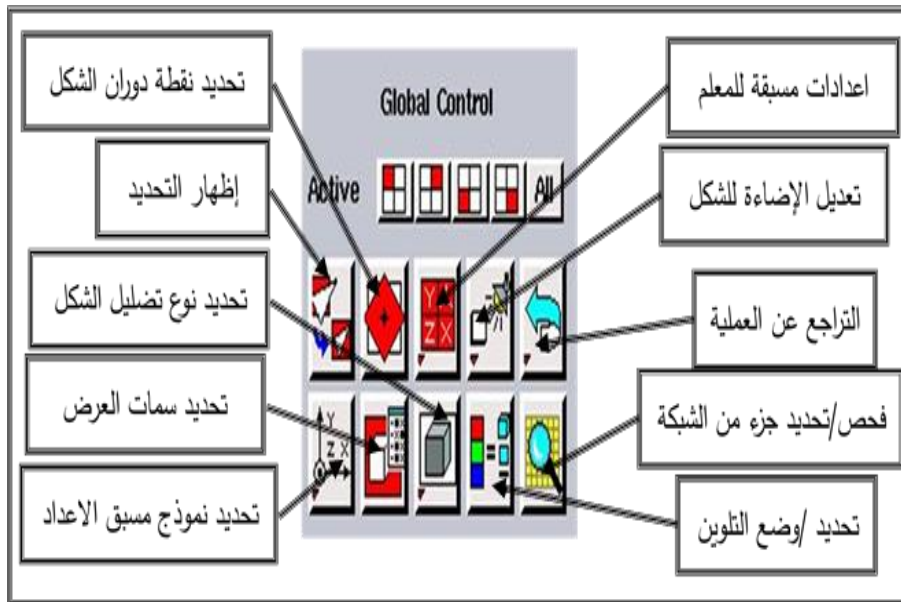
8.2.3. تحديد نوع الشبكة لعناصر الوجه: يمكن إنشاء وتقسيم الشبكة لأوجه الشكل الهندسي المدروس، كما هو موضح في الجدول (III-6).

الجدول (III-6) يوضح أنواع عناصر الأوجه المرتبطة بكل شبكة في البرنامج الرقمي Gambit [19]

الوصف	الاعداد
إنشاء شبكة منتظمة ومنظمة.	Map
تقسيم الوجه الهندسي الغير منتظم إلى أشكال منتظمة وإنشاء شبكة منظمة لكل شكل	Submap
إنشاء شبكة غير منظمة.	Pave
تقسيم الوجه ثلاثي الأضلاع إلى ثلاثة أشكال رباعية وإنشاء شبكة مرسومة في كل شكل.	Tri primitive
إنشاء عناصر مثلثية في نهاية الوجه على شكل إسفين وإنشاء شبكة شعاعية نحو الجزء الخارجي من الطرف.	Wedge primitive

9.2.3. تحكم عام في النقطة / القطعة / الوجه / الجسم: يمكن التحكم في النقطة، القطعة أو الوجه باستعمال

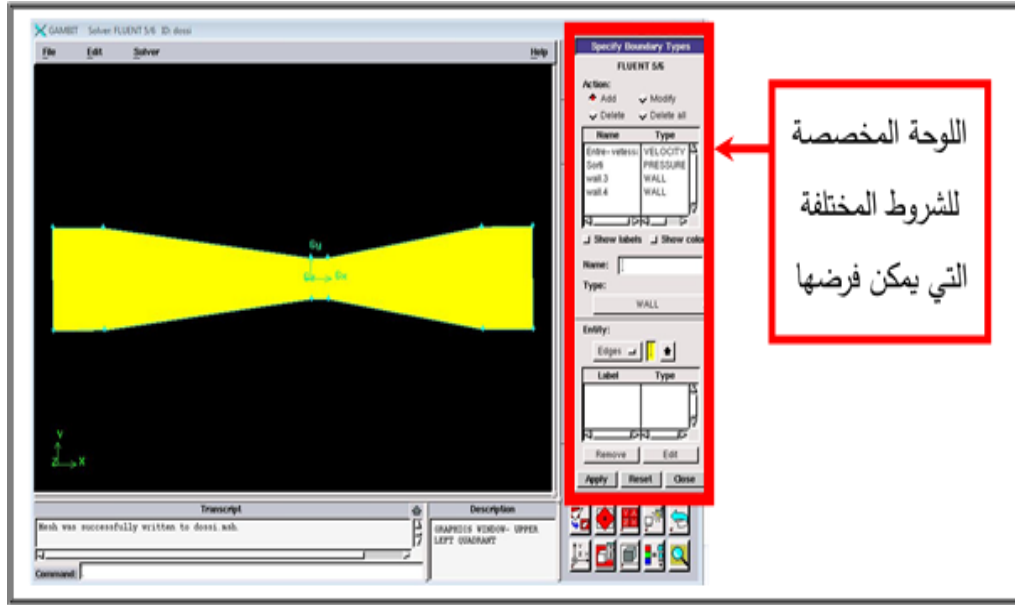
الواجهة المبينة في الشكل (III-5)



الشكل (III-5): واجهة التحكم العام لنقطة /قطعة / وجه /جسم في البرنامج الرقمي Gambit

10.2.3. الشروط الحدية وتعريف المجال: يمكن تحديد الشروط الحدية على الاشكال الهندسية المرسومة،

والشكل (III-6) يوضح اللوحة المخصصة للشروط المختلفة التي يمكن فرضها.

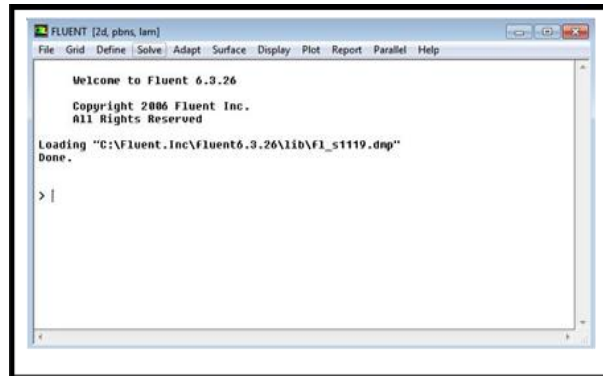


الشكل (III-6): واجهة لتحديد الشروط الحدية في البرنامج الرقمي Gambit

بعد تشكيل الشكل الهندسي للمجسم المراد دراسته وتطبيق شروط الحدية وتقسيمه على شكل "شبكة" في البرنامج الرقمي Gambit ليتم تحليلها في برنامج المحاكاة "FLUENT".

3.3. برنامج المحاكاة FLUENT:

FLUENT هو برنامج رقمي يستعمل لمحاكاة بنمذجة ثلاثية أو ثنائية الأبعاد لتدفق السائل مع أو بدون انتقال الحرارة، مع أو بدون تفاعلات كيميائية، ولمرحلة واحدة أو أكثر. يتم استخدامه في العديد من المجالات الصناعية مثل: الطيران، والمركبات الآلية، والبحرية، والطب الحيوي، والتبريد الإلكتروني، معالجة البوليمر، العمليات الكيميائية، توليد الطاقة، الآلات التوربينية،..... إلخ [20]. ويتم تقديمه كما هو موضح في الشكل (III-7).



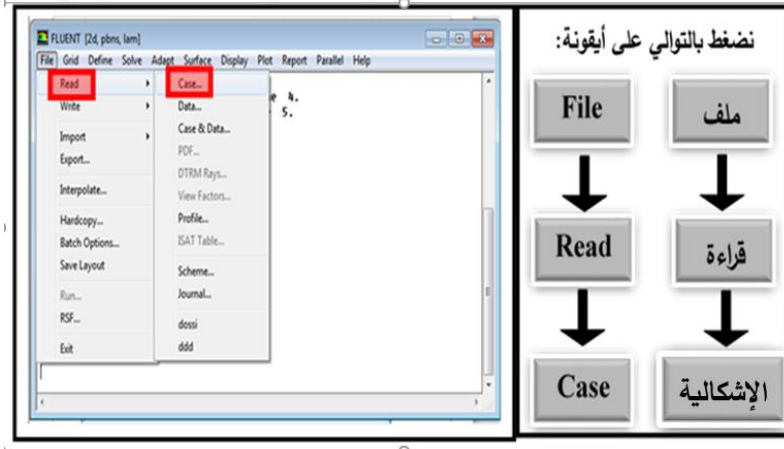
الشكل (III-7): واجهة برنامج FLUENT

4.3. الخطوات التي يجب اتباعها لمحاكاة ببرنامج "FLUENT 6.3.26"

في هذا القسم، نحدد الخطوات المختلفة التي يجب اتباعها لإجراء المحاكاة للمشكلة الفيزيائية بالبرنامج الرقمي
:Fluent 6.3.26

1.4.3. قراءة الملف:

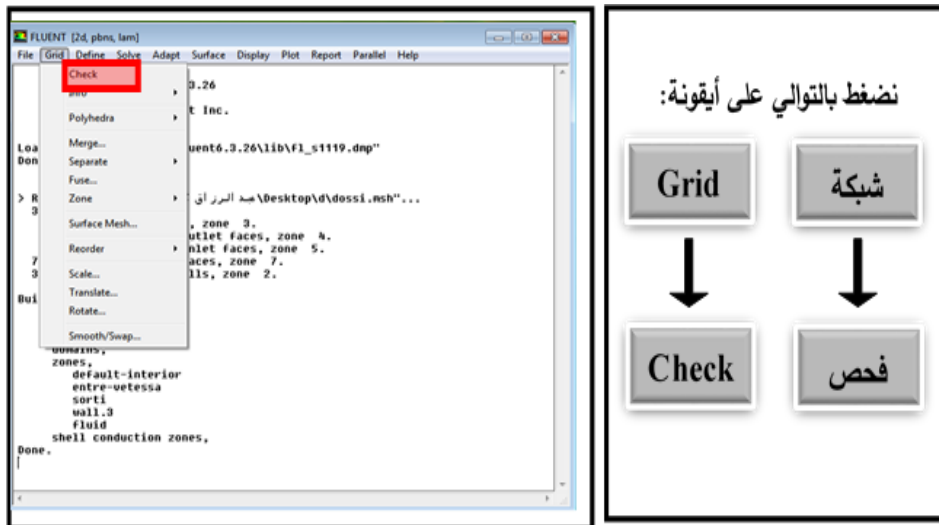
تستخدم هذه الخطوة لقراءة الملفات المحفوظة بالفعل، وللقيام بذلك، اتبع الإجراء الموضح في الشكل (III-8):



الشكل(III-8): طريقة قراءة إشكالية في برنامج FLUENT

2.4.3. قراءة والتحقق من الشكل الهندسي المستورد:

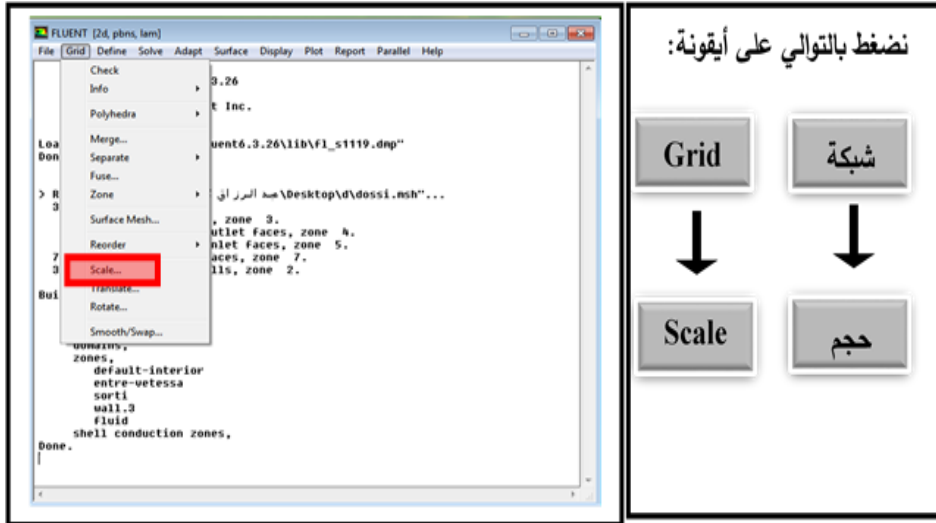
للتحقق من البيانات المستلمة نقوم بالإجراء المبين في الشكل (III-9):



الشكل(III-9): قراءة التحقق من الشكل الهندسي المستورد

3.4.3. التعديل على الوحدات في الشكل الهندسي المستورد:

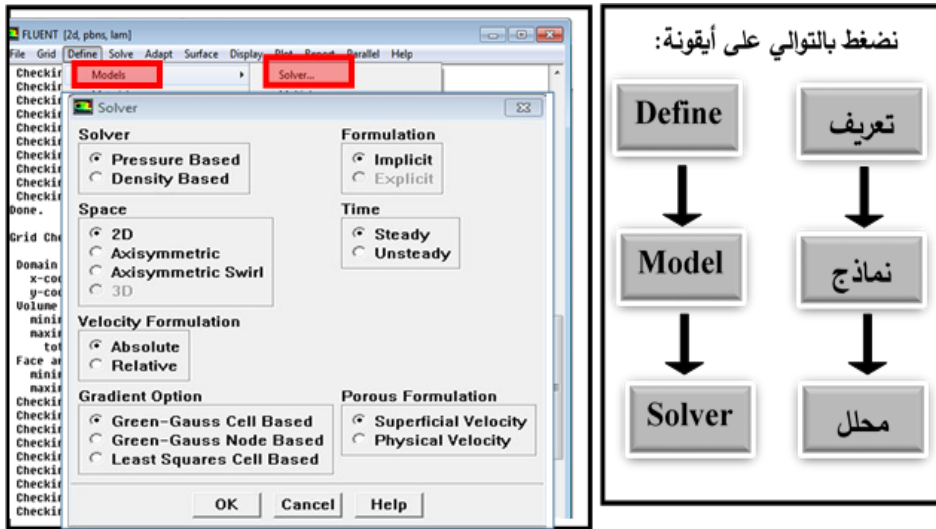
للتعديل على الوحدات للبيانات المستلمة نقوم بالإجراء المبين في الشكل (III-10):



الشكل (III-10): واجهة التعديل على الوحدات في الشكل الهندسي المستورد

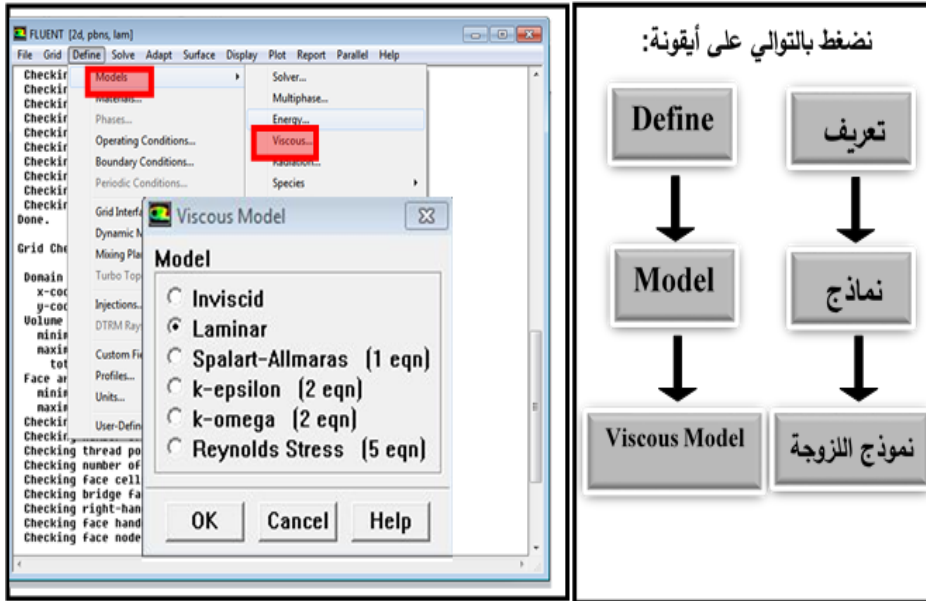
4.4.3. تعريف الجوانب المختلفة للمشكلة:

لاستعمال نماذج إعدادات مسبقة في البرنامج يسمح لنا بتحليل طبيعة التدفق، نوع المعلم وطبيعة السرعة والزمن نقوم بالإجراء الموضح في الشكل (III-11):



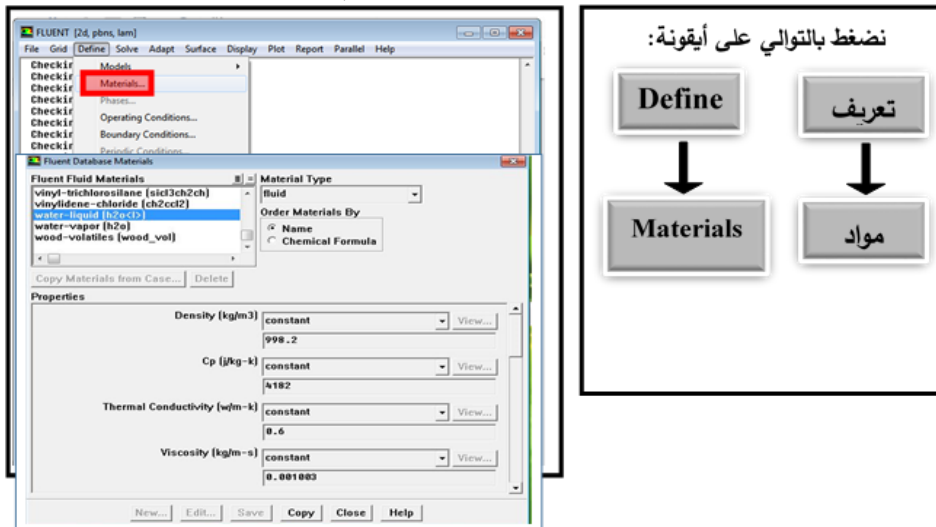
الشكل (III-11): تعريف الجوانب المختلفة للمشكلة

5.4.3. تعريف نظام التدفق: من أجل تحديد نوع تدفق السوائل بتحديد نوع اللزوجة ونوع الجريان الذي سيعتمد عليه البرنامج لحل المشكلة، فقط قم بتفعيل الأمر الموضح في الشكل (III-12):



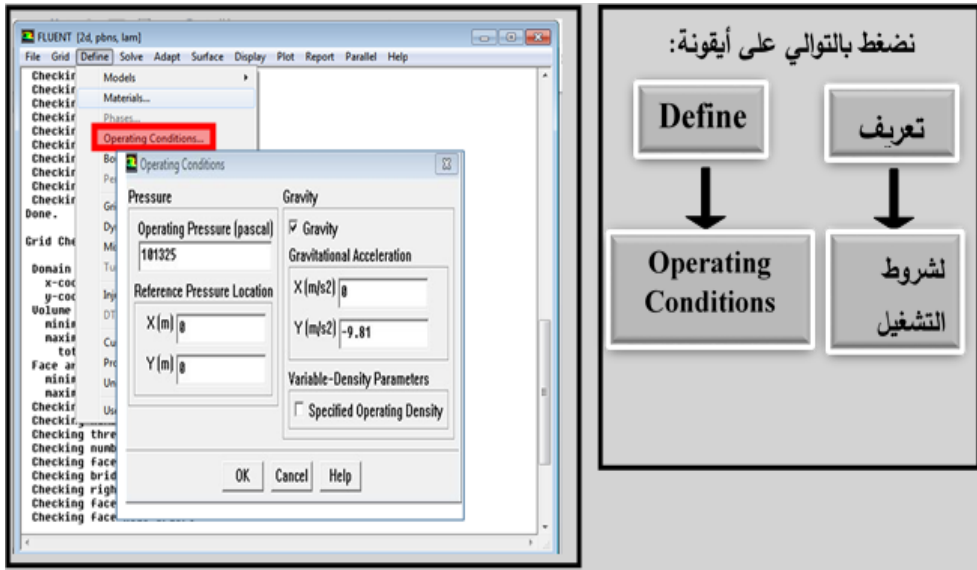
الشكل (III-12): تعديل اللزوجة ونوع الجريان بنموذج مسبق

6.4.3. تحديد نوع المواد المستخدمة: تتيح لنا هذه الخطوة من البرنامج تحديد نوع المادة المستخدمة في المحاكاة باستخدام قاعدة بيانات مسبقة الاعداد، كما هو مبين في الشكل (III-13):



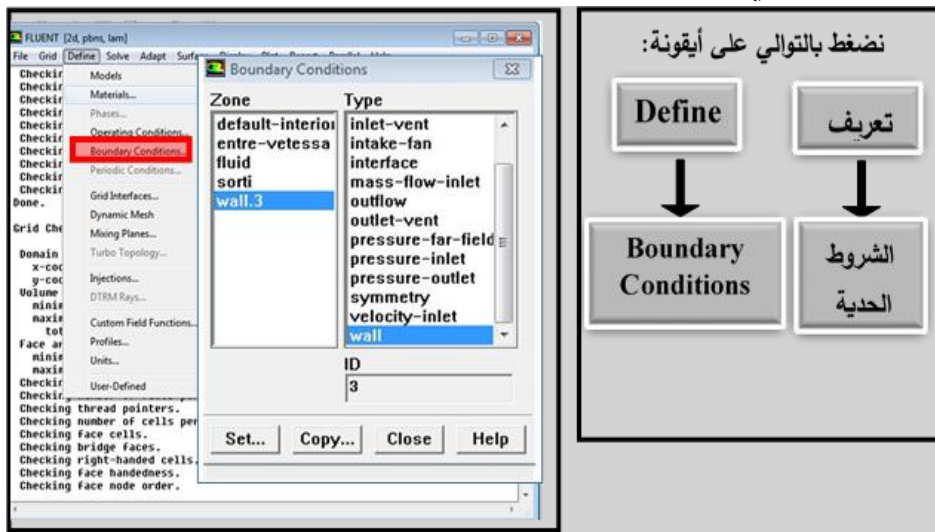
الشكل (III-13): تحديد نوع المواد المستعملة للمحاكاة

7.4.3. تحديد شروط التشغيل: القائمة الفرعية الموضحة بالشكل (III-14) تسمح لنا بتعيين وتعديل القيم مثل الجاذبية الأرضية، الضغط، السرعة، .. للمشكلة الفيزيائية التي يتم معالجتها.



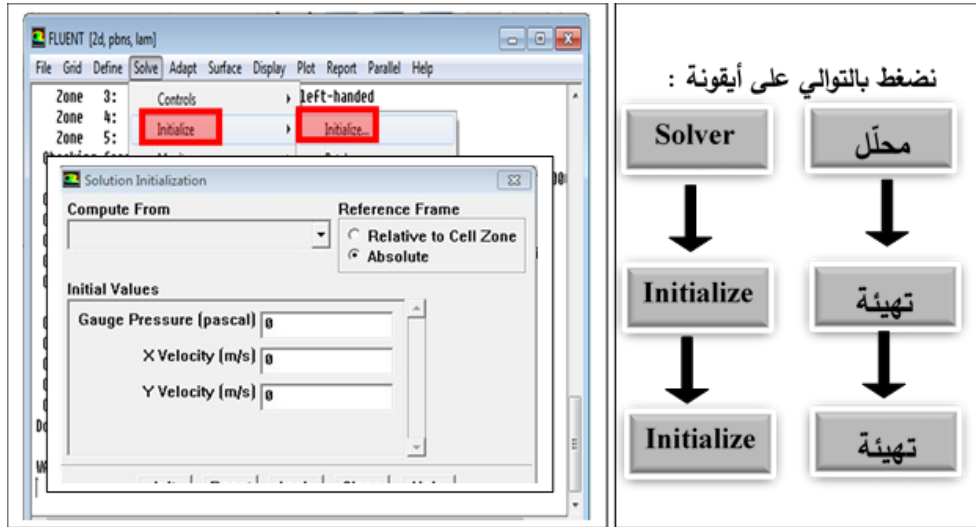
الشكل (III-14): تحديد شروط التشغيل

8.4.3. تحديد الشروط الحدية: القائمة الفرعية الموضحة بالشكل (III-15) تسمح لنا بتعيين وتعديل القيم الحدية للمشكلة الفيزيائية التي يتم معالجتها.



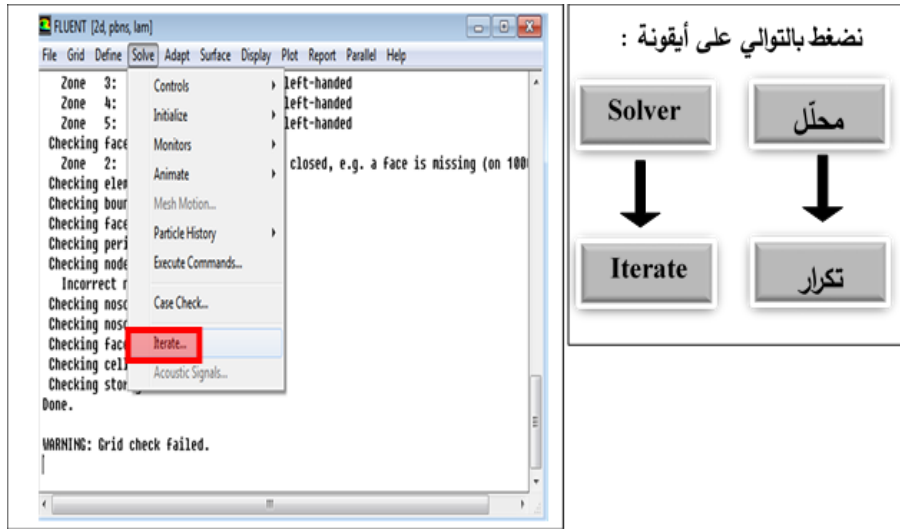
الشكل (III-15): تحديد الشروط الحدية المسبقة

9.4.3. تهيئة الحسابات: قبل إجراء أي حساب تكراري، يجب تهيئة الحساب بضبط أو تعديل قيمة الضغط أو السرعة وذلك يتم باستخدام الأمر الموضح بالشكل (III-16)



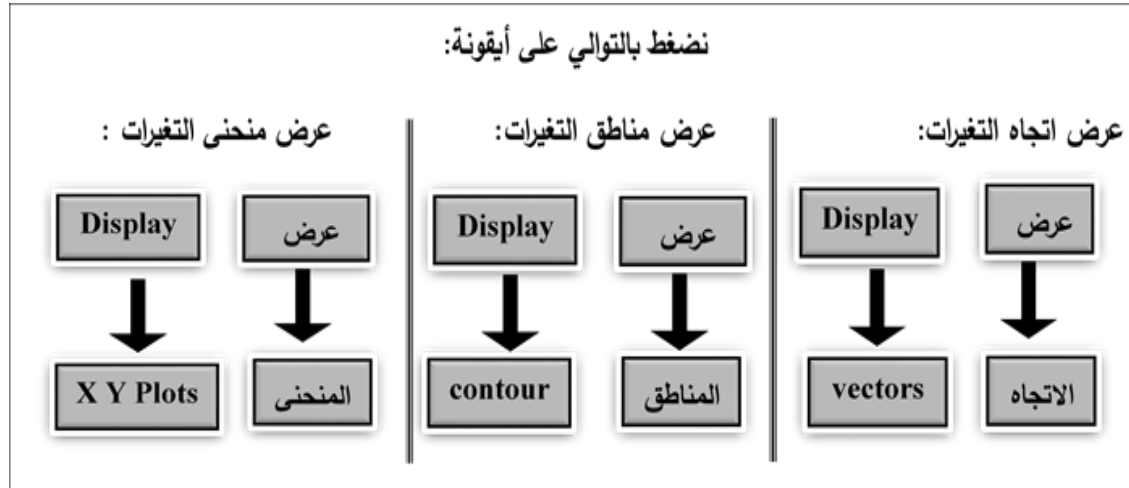
الشكل (III-16): تهيئة الحسابات

10.4.3. الحساب التكراري: الحساب التكراري يسمح بالحصول على نتائج أفضل وأدق يجب اختيار عدد كبير من الاحداثيات، حيث لتفعيل أمر الحساب نستخدم الأمر الموضح بالشكل (III-17):



الشكل (III-17): إجراء التكرارات

11.4.3. استخراج صور للمحاكاة الرقمية: لاستخراج صور المحاكاة الرقمية قم بتفعيل الأمر الموضح بالشكل (III-18) واختر المحاكاة المناسبة (تغيرات السرعة، تغيرات الضغط،



الشكل (III-18): أوامر لاستخراج المحاكاة

4. الخاتمة

في هذا الفصل تم شرح الجزء اليسير من العموميات المتعلقة بالنمذجة العددية المتعلقة بتدفق السوائل، وخاصة مبدأ الديناميكا الحسابية، وكذلك تم وصف عمومي وشرح بسيط لكيفية استخدام البرنامجين الرقميين " Gambit 2.3.16 " و " FLUENT 6.3.26 "، وسيتم تخصيص الفصل التالي لتقديم موجز رسم شبكة ببرنامج Gambit والنمذجة والمحاكاة الرقمية ببرنامج Fluent.

الفصل الرابع

المواد والطرق

IV- المواد والطرق

1. المقدمة:

لإجراء المحاكاة العددية لجريان الموائع داخل أنبوب فنتوري، تم إجراء التجربة بمخبر ميكانيك الموائع المتواجد بمعهد العلوم الدقيقة، باستعمال مقياس فنتوري وماء الحنفية بدرجة حرارة الغرفة، أخذت النتائج والقياسات المطلوبة.

في هذا الفصل نذكر الأجهزة والأدوات المستعملة، وسوف نوضح الخطوات المختلفة المتبعة لنمذجة تدفق المياه داخل أنبوب فنتوري. تتكون خطوات النمذجة من رسم تخطيطي للهندسة ثنائية الأبعاد وشبكتها، ثم تقسيمها إلى أجزاء باستعمال برنامج Gambit 2.3.16. ومحاكاة باستعمال برنامج المحاكاة " Fluent Solver 6.3.26" [19][20].

2. الدراسة التجريبية لجريان الموائع داخل أنبوب فنتوري

سبق تعريف مقياس فنتوري في الفصل الثاني، أما في الدراسة التجريبية فالمقياس المستعمل

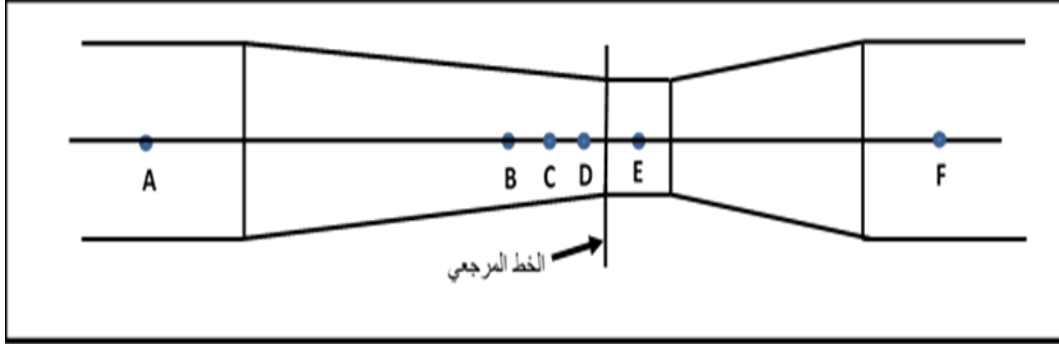
موضح في الشكل (1-IV)



الشكل (1-IV): صورة توضح مقياس فنتوري المستخدم موضوع فوق المقعد الهيدروليكي

3. عرض الهندسة المرجعية:

- يتكون الشكل الهندسي المرجعي من أنبوب فنتوري. تظهر أبعاد الأنبوب في الشكل (2-IV) والجدول (1-IV). بالنسبة لنمذجتنا يتدفق الماء داخل أنبوب فنتوري، نأخذ في الاعتبار الفرضيات التالي:
- يتم تنفيذ التدفق في معلم ثنائي الأبعاد باتباع المحورين X وY.
 - التدفق مضطرب ورقائقي.
 - يعتبر الماء سائل متساوي الحرارة ليس له تأثير على الضغط.



الشكل (2-IV): مخطط لمقياس فنتوري المستخدم موضحة عليه المراجع الخاصة بالأنابيب البيزومترية

الجدول (1-IV): مواضع القياسات والأبعاد المميزة لمقياس فنتوري المستخدم

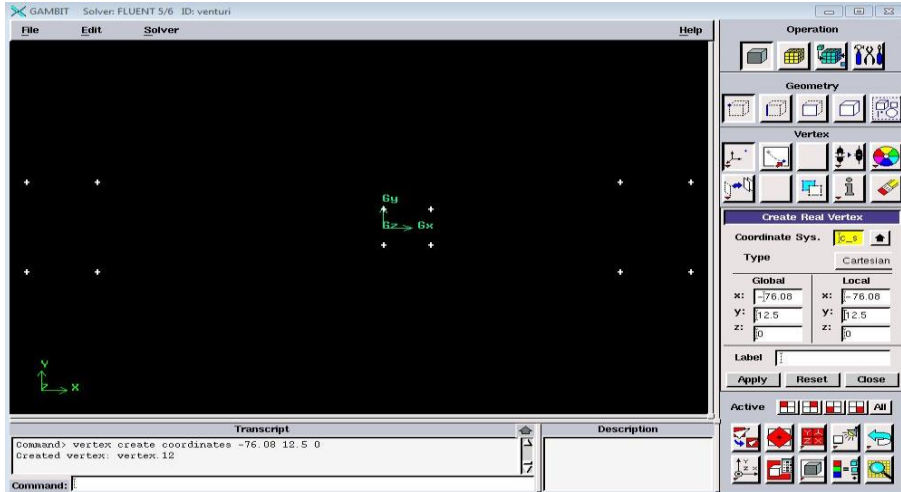
المراجع	A(1)	B(2)	C(3)	D(4)	E(5)	F(6)
القطر (mm)	25	13.9	11.8	10.7	10	25
البعد عن الخط المرجعي (mm)	-76.08	-15.08	-7.4	-2.9	5	65.46

4. خطوات النمذجة:

4-1- بناء وتشكيل الهندسة على برنامج Gambit 2.3.16:

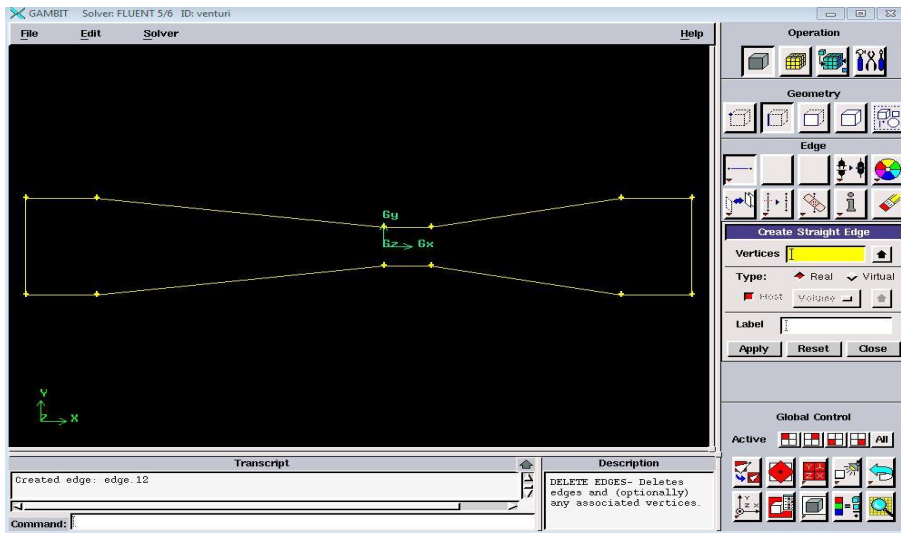
تم إجراء البناء الهندسي باستخدام برنامج إنشاء الشبكة Gambit 2.3.16.

- **تعليم النقط:** نبدأ برسم النقاط، وذلك بتعليم احداثيات النقاط باستعمال الجدول (1-IV)، نتحصل على الشكل (3-IV)



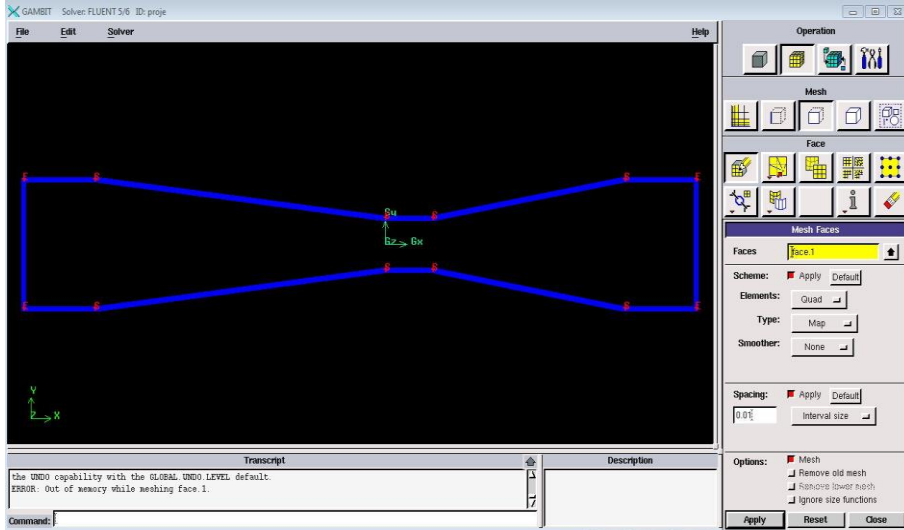
الشكل (3-IV): مواضع نقط الشكل الهندسي لأنبوب فنتوري في برنامج Gambit

- رسم القطع: نربط النقاط المعلمة ببعضها البعض فنحصل على الشكل (4-IV).

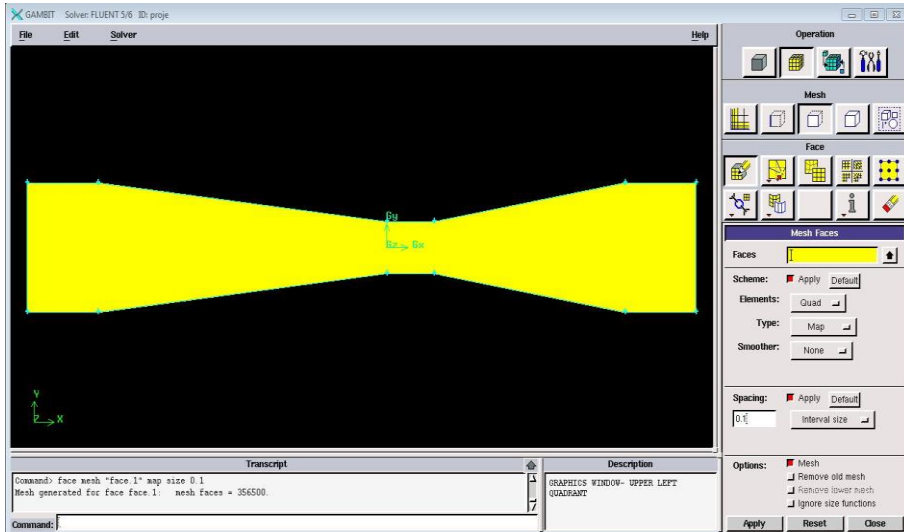


الشكل (4-IV): شكل الهندسي لأنبوب فنتوري في برنامج Gambit

- رسم الشبكة: تلعب الشبكة دورًا مهمًا في تقارب ودقة النتائج، ولذا يجب علينا القيام بذلك بطريقة دقيقة. في حالتنا، نبدأ بربط كل جزء من مجالنا يدويًا عن طريق إعطاء كل جزء عددًا من تقسيمات دقيقة للغاية، ثم نقوم بإنشاء سطح الشبكة، لاحظ الشكل (5-IV).

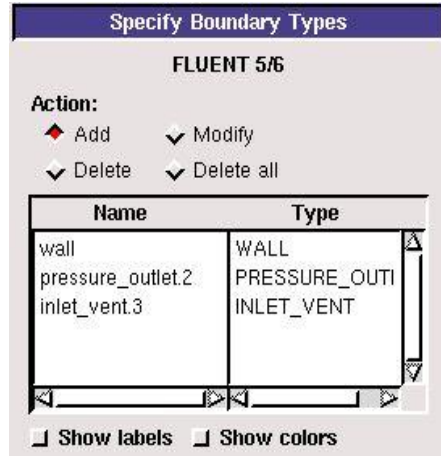


الشكل (IV-5): حدود الشبكة لأنبوب فنتوري في برنامج Gambit



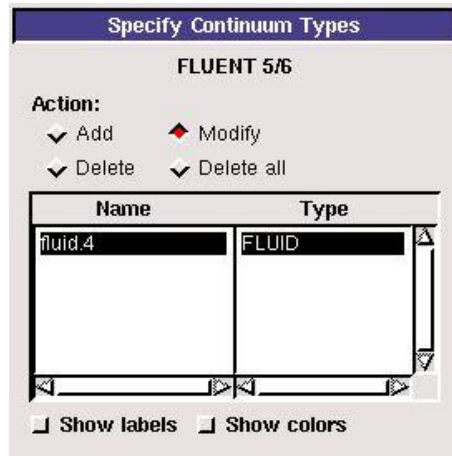
الشكل (IV-6): شبكة سطح أنبوب فنتوري في برنامج Gambit

- الشروط الحدية: بعد الانتهاء من تشكيل الشبكة يجب علينا تحديد واختيار الشروط الحدية لمجال دراستنا. تجدر الإشارة إلى أن الشروط الحدية تكون مشكلتنا الفيزيائية من تدفق المياه عند المدخل والجدران، وحالة المخرج. هذه الشروط هي موضح في الشكل (IV-7).



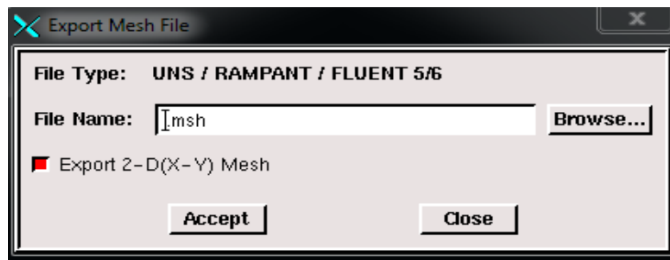
الشكل (IV-7): الشروط الحدية لأنبوب فنتوري في برنامج Gambit

- في النهاية نضيف شروط مجال الدراسة كما هو موضح في الشكل (IV-8)



الشكل (IV-8): شروط مجال الدراسة أنبوب فنتوري في برنامج Gambit

- والخطوة الأخيرة في برنامج Gambit، نقوم بتصدير الملف بتنسيق "msh" (الإنجليزية) والتي يمكننا استغلالها باستخدام برنامج المحاكاة الرقمية. Fluent 6.3.26 كما هو موضح في الشكل (IV-9).

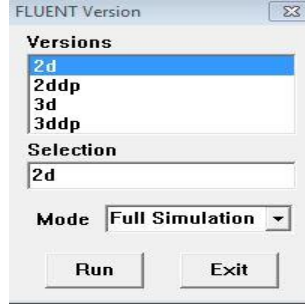


الشكل (IV-9): تصدير الملف بتنسيق "msh" في برنامج Gambit

2-4- المحاكاة ببرنامج Fluent 6.3.26:

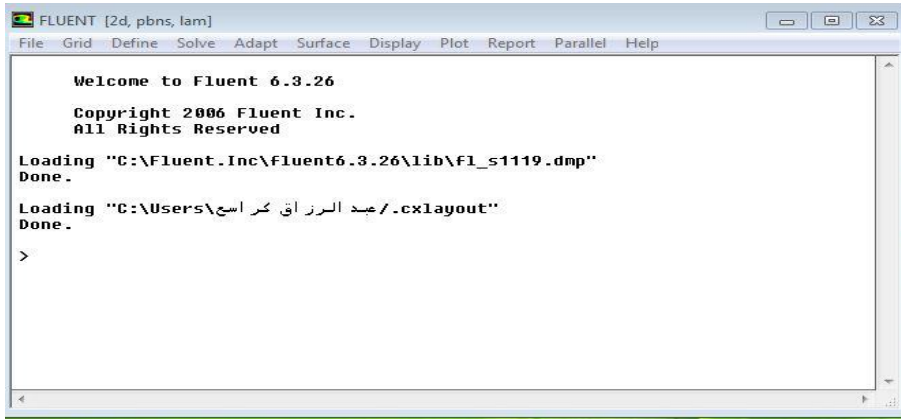
لإجراء المحاكاة نقوم بفتح برنامج المحاكاة Fluent 6.3.26 ونتبع الخطوات التالية:

- نختار الدقة المناسبة للمحاكاة كما هو موضح في الشكل (IV-10)



الشكل (IV-10): اختيار الدقة في برنامج المحاكاة Fluent

- بعد اختيار الدقة تظهر الأيقونة الموضحة في الشكل (IV-11)



الشكل (IV-11): أيقونة برنامج المحاكاة Fluent

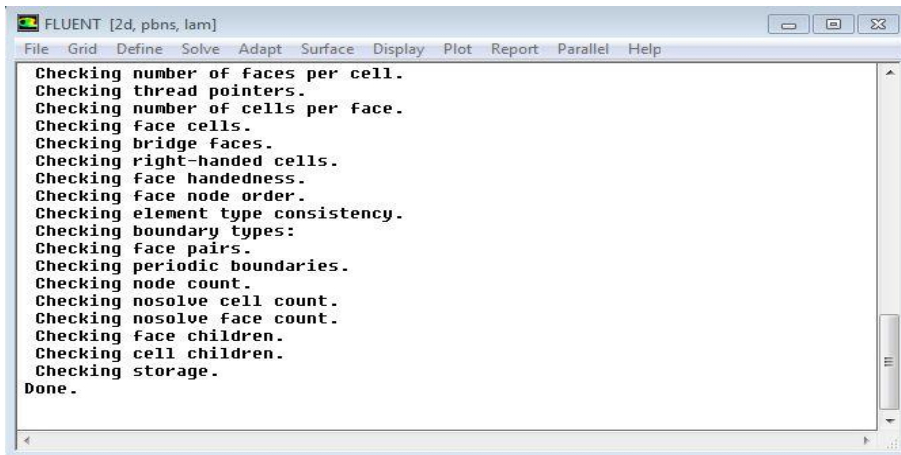
- نبدأ في المحاكاة، نقوم باستيراد ملف بتنسيق "msh" المصدر من برنامج Gambit، نقوم بالإجراء التالي:



- بعدها نقوم بالإجراء فحص البيانات:



- نتصل على الأيقونة التالية:

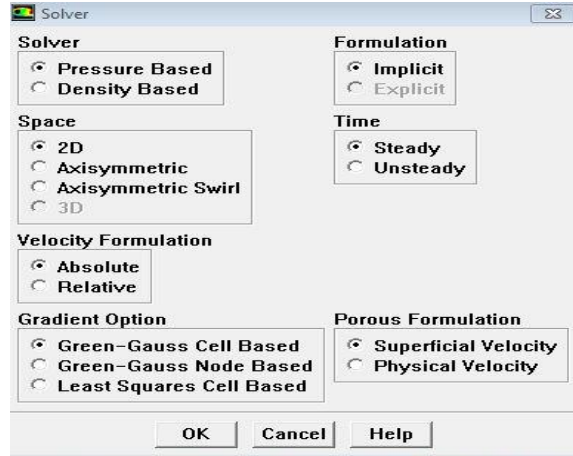


الشكل (IV-12): أيقونة برنامج المحاكاة Fluent بعد فحص البيانات

- نقوم بالإجراء الموالي:

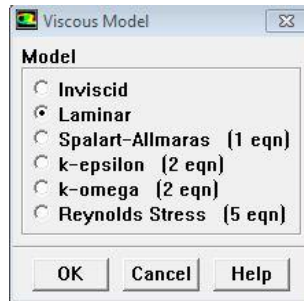
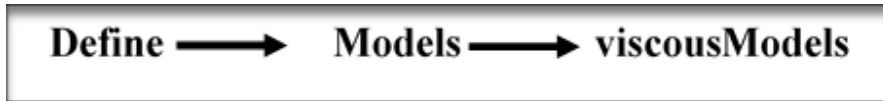


- نترك اعدادات المحلل كما هي موضحة في الشكل (IV-13)



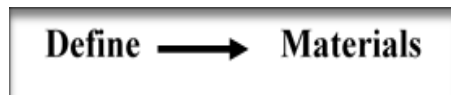
الشكل (IV-13): أيقونة المحلل برنامج المحاكاة Fluent

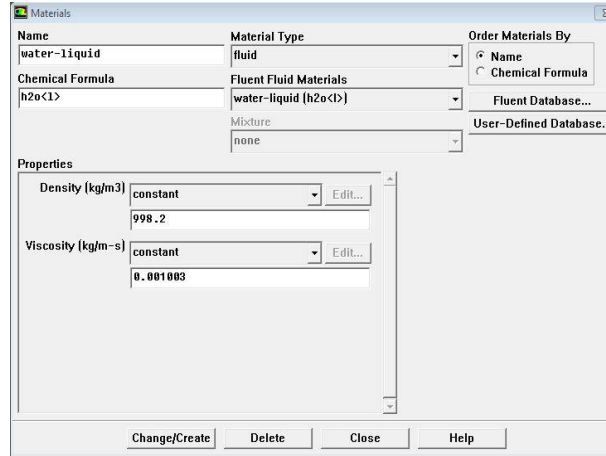
- نقوم بتعريف نظام التدفق بتعديل اللزوجة وفق الاجراء التالي:



الشكل (IV-14): أيقونة تعديل اللزوجة برنامج المحاكاة Fluent

- تحديد المواد المستخدمة نختار الماء السائل بالقيام بالإجراء التالي:

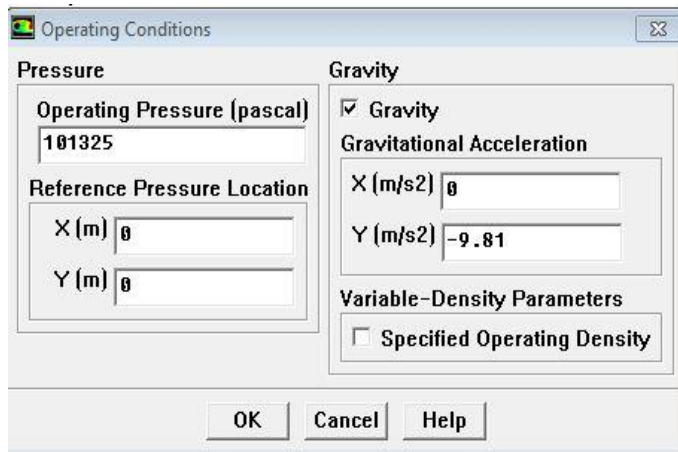




الشكل (IV-15): أيقونة تعديل المواد برنامج المحاكاة Fluent

- تحديد شروط التشغيل نحدد الجاذبية والضغط نقوم بالإجراء التالي:

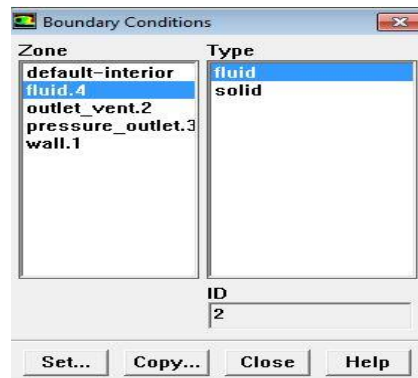
Define → Operating conditions



الشكل (IV-16): أيقونة تعديل شروط التشغيل برنامج المحاكاة Fluent

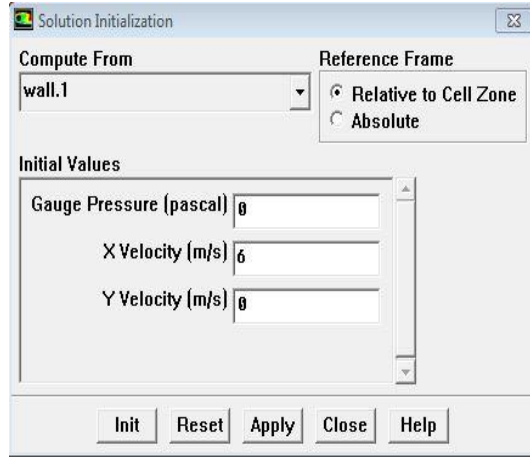
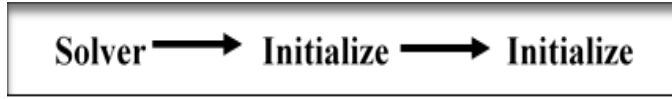
- تحديد الشروط الحدية، نقوم بالإجراء التالي:

Define → Boundary conditions



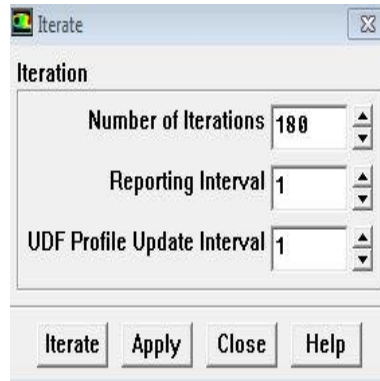
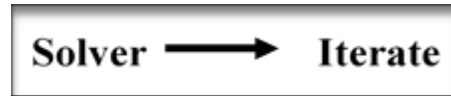
الشكل (IV-17): أيقونة الشروط الحدية برنامج المحاكاة Fluent

- تهيئة الحسابات نقوم بضبط أو تعديل قيمة الضغط أو السرعة وذلك بالإجراء التالي:



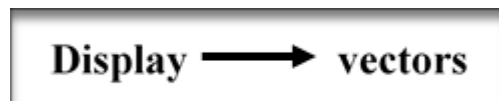
الشكل (IV-18): أيقونة تهيئة الحسابات برنامج المحاكاة Fluent

- الحساب التكراري يسمح بالحصول على نتائج أفضل وأدق يجب اختيار عدد كبير من الأحداثيات، نقوم بالإجراء التالي:



الشكل (IV-19): أيقونة المحلل برنامج المحاكاة Fluent

- لاستخراج صور المحاكاة الرقمية نقوم بالإجراء التالي:
- عرض اتجاه تغيرات السرعة أو الضغط



- عرض مناطق تغيرات السرعة/ الضغط

Display → contours

- عرض منحنى تغيرات السرعة / الضغط

Display → X Y Plot

5. الخاتمة

تم تخصيص هذا الفصل لعرض المراحل المختلفة من النمذجة، مروراً من رسم الهندسة على مولد شبكة Gambit إلى المحاكاة ببرنامج المحاكاة Fluent 6.3.26 وسوف يخصص الفصل التالي لمناقشة النتائج التي تم التوصل إليها.

الفصل الخامس

النتائج و المناقشة

V- النتائج و المناقشة

1. مقدمة:

بعد اجراء التجربة وإجراء المحاكاة الرقمية التي ذكرت في الفصل السابق، سنعرض في هذا الفصل النتائج والتحليل والمناقشة.

2. القياسات التجريبية المتحصل عليها:

الجدول (1-V): القياسات التجريبية للضغط الستاتيكي المأخوذة من الأنابيب البيزومترية عند مواضع مختلفة من أنبوب فنتوري وعند درجة حرارة للماء مساوية لـ 20°C بدلالة رقم رينولدز عند مدخل الأنبوب.

الجدول (1-V): القياسات التجريبية للضغط الستاتيكي المأخوذة من الأنابيب البيزومترية

Re	P _A (Pa)	P _B (Pa)	P _C (Pa)	P _D (Pa)	P _E (Pa)	P _F (Pa)
4610,56	4151,953	3956,106	3745,571	3525	3339	3564
3918,017	3143,342	2996,457	2839,779	2654	2507	2693
3178,981	1713,66	1615,736	1527,605	1420	1322	1420
7542,066	3799,429	3358,773	2878,949	2350	1958	2566
7888,29	4122,576	3583,997	3006,249	2370	1890	2673
1984,773	1968,261	1938,884	1889,922	1851	1812	1841

3. نتائج المحاكاة العددية:

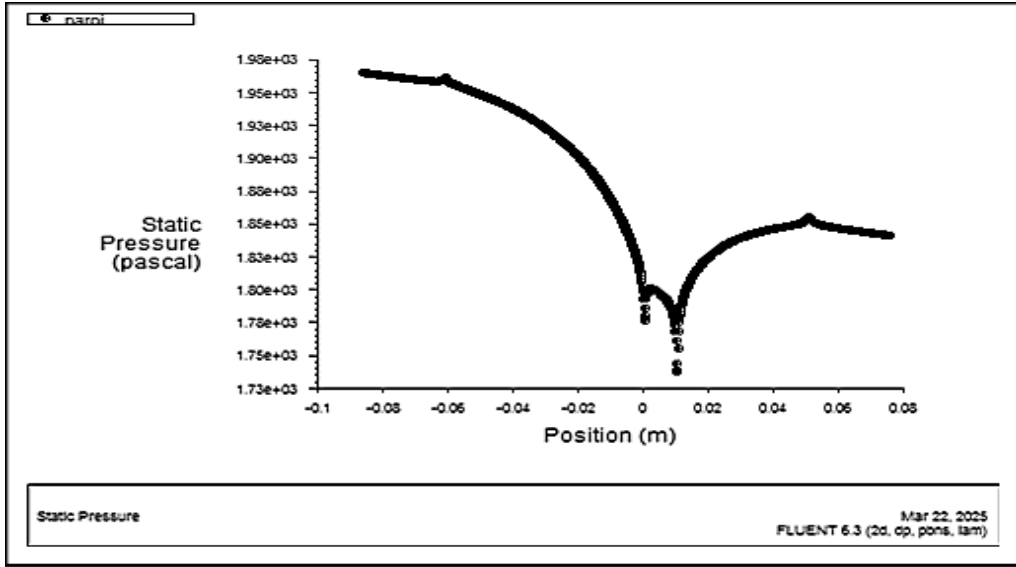
في هذا الجزء قمنا بدراسة عددية حول التغير في الضغط الستاتيكي وسرعة المائع داخل أنبوب فنتوري من أجل جريان مضطرب وآخر رقائقى وكانت النتائج كالاتي:

1.3. حالة الجريان الرقائقى:

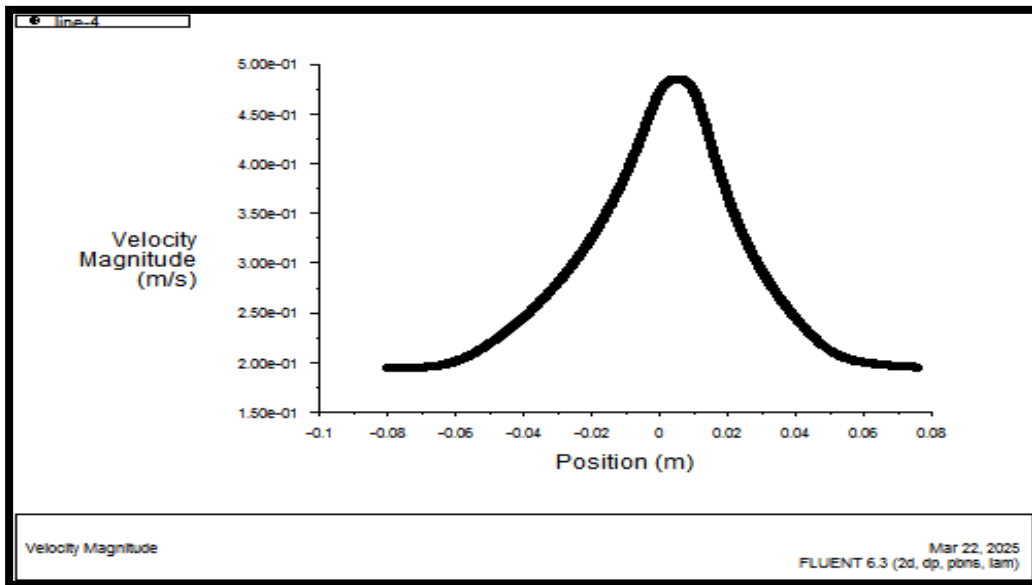
من أجل هذا الجريان تم استخدام المعطيات والنتائج الآتية:

- الكتلة الحجمية للماء تساوي 998.2 kg/m^3 .
- معامل اللزوجة الديناميكية للماء يساوي 0.001003 Pa s .
- تسارع الجاذبية الأرضية يساوي 9.81 m/s^2 .
- الضغط الكلي عند مدخل الأنبوب يساوي 1983 Pa .
- الضغط الستاتيكي عند مدخل الأنبوب يساوي 1968 Pa .
- رقم رينولدز عند مدخل الأنبوب يساوي تقريبا 1985 .

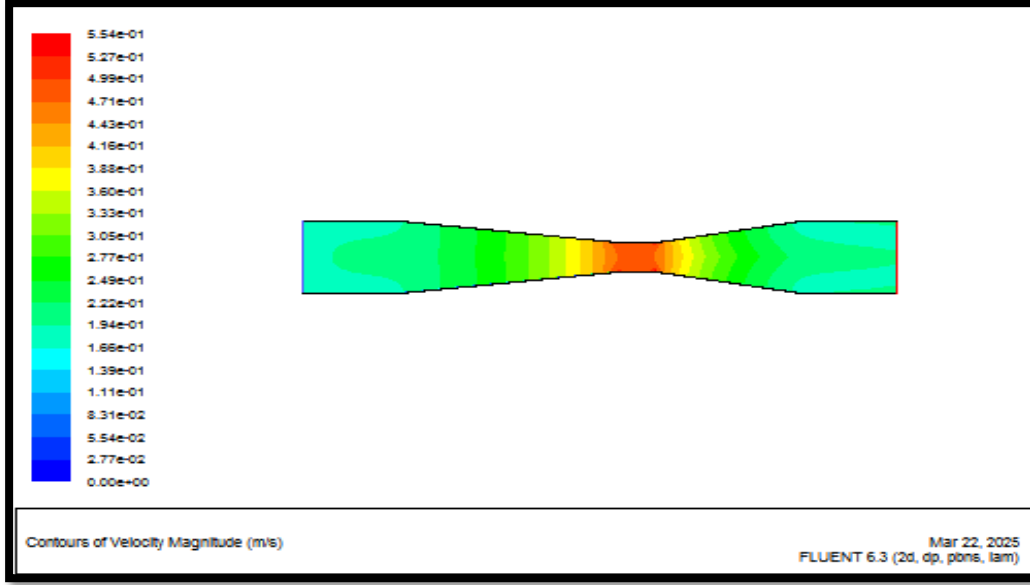
تم معالجة البيانات العددية في البرنامج الرقمي FLUENT 6.3.26 فتحصلنا على المحاكاة العددية المبينة في الشكل (1-V) والشكل (2-V) والشكل (3-V) والشكل (4-V).



- الشكل (1-V): تغير الضغط الستاتيكي عند الجدار على طول أنبوب فنتوري من أجل جريان رقائقي من خلال المنحنى البياني لتغير الضغط الستاتيكي عند الجدار على طول أنبوب فنتوري من أجل جريان رقائقي الموضح في الشكل (1-V) نلاحظ أن الضغط الستاتيكي عند جدار مدخل الأنبوب يتناقص تدريجيا حتى يبلغ جدار عنق الأنبوب ثم يأخذ في التزايد عند جدار مخرج الأنبوب حتى تصل إلى قيمة أقل من قيمة المدخل.

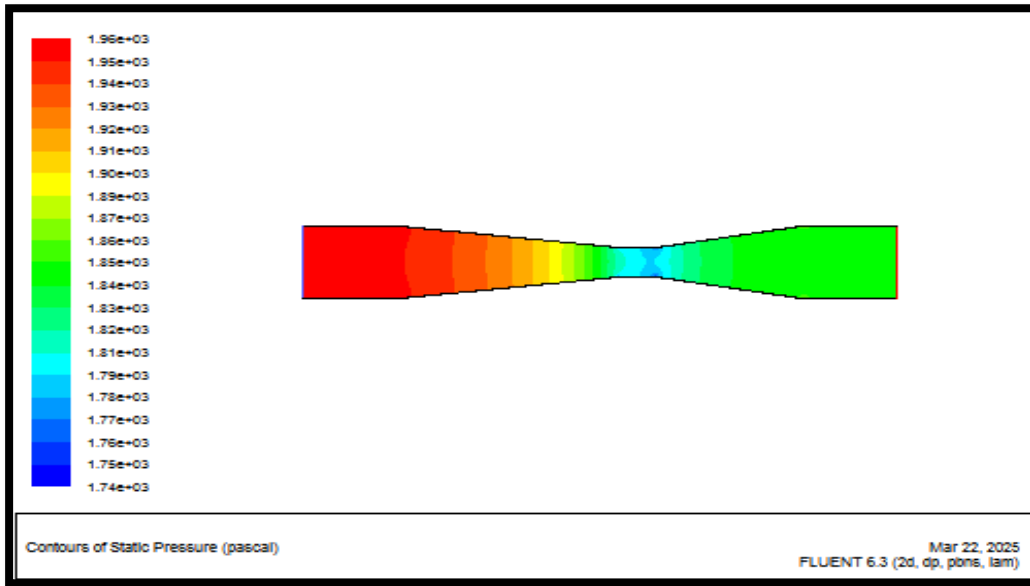


- الشكل (2-V): تغير السرعة عند المحور على طول أنبوب فنتوري من أجل جريان رقائقي من خلال المنحنى البياني لتغير السرعة عند المحور على طول أنبوب فنتوري من أجل جريان رقائقي الموضح في الشكل (2-V) نلاحظ أن السرعة عند المحور على طول أنبوب فنتوري تتزايد من مدخل الأنبوب حتى تصل إلى أعلى قيمة عند عنق الأنبوب لتأخذ في التناقص حتى مخرج الأنبوب مساوية لتلك عند المدخل.



الشكل (3-V): توزيع السرعة داخل أنبوب فنتوري من أجل جريان رقائقي

- من خلال المحاكاة لتوزيع السرعة داخل أنبوب فنتوري من أجل جريان رقائقي الموضح في الشكل (3-V) (3) نلاحظ أن مقدار السرعة يتزايد من المدخل حتى تصل إلى أعلى قيمة عند عنق الأنبوب لتأخذ في التناقص حتى مخرج الأنبوب مساوية لتلك عند المدخل.



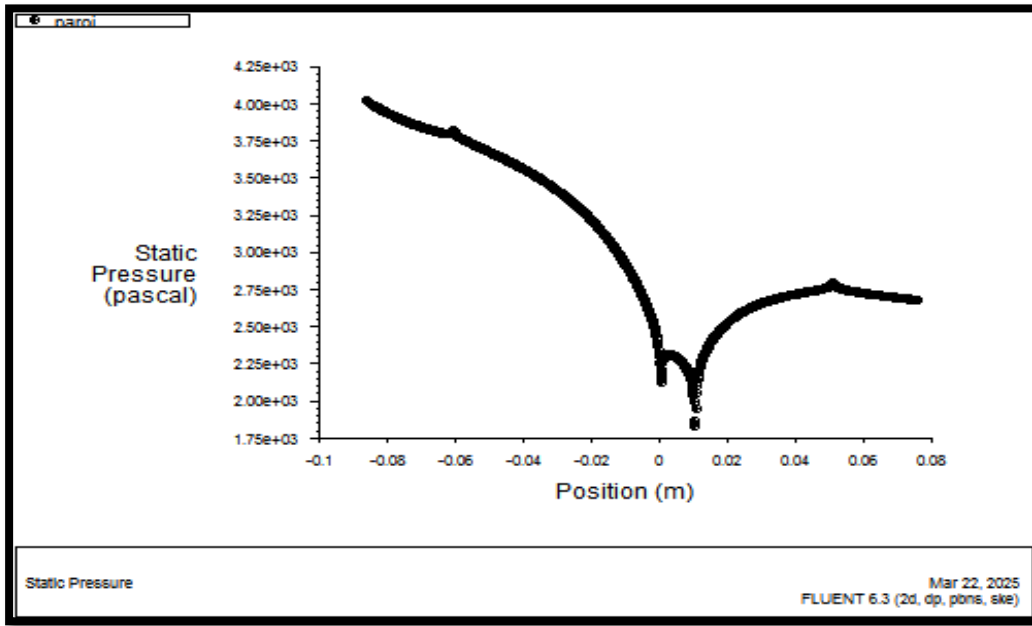
الشكل (4-V): توزيع الضغط الستاتيكي داخل أنبوب فنتوري من أجل جريان رقائقي

- من خلال المحاكاة لتوزيع الضغط الستاتيكي داخل أنبوب فنتوري من أجل جريان رقائقي الموضح في الشكل (4-V) نلاحظ أن مقدار الضغط الستاتيكي يتناقص من المدخل حتى تصل إلى أقل قيمة عند عنق الأنبوب ليأخذ في التزايد حتى مخرج الأنبوب لتصل إلى قيمة أقل من قيمة المدخل.

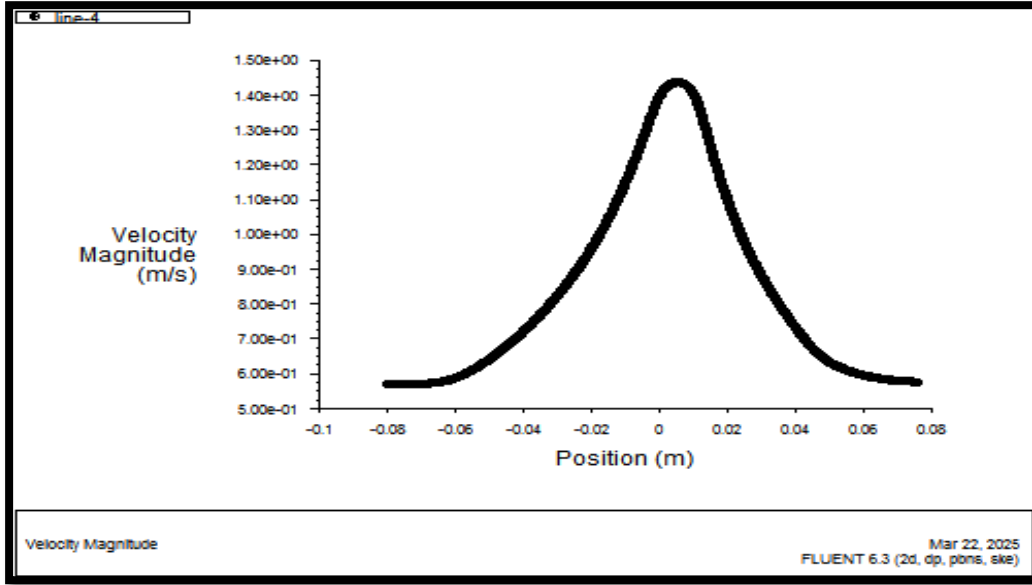
2.3. حالة الجريان المضطرب:

من أجل هذا الجريان تم استخدام المعطيات والنتائج الآتية:

- الكتلة الحجمية للماء تساوي 998.2 kg /m^3
- معامل اللزوجة الديناميكية للماء يساوي 0.001003 Pa s
- تسارع الجاذبية الأرضية يساوي 9.81 m/s^2
- تم استخدام نموذج الاضطراب المثالي (k - e)
- الضغط الكلي عند مدخل الأنبوب يساوي 4172.4 Pa
- الضغط الستاتيكي عند مدخل الأنبوب يساوي 4123 Pa
- رقم رينولدز عند مدخل الأنبوب يساوي $.7888$.
- تم معالجة البيانات العددية في البرنامج الرقمي FLUENT 6.3.26 فتحصلنا على المحاكاة العددية المبينة في الشكل (5-V) والشكل (6-V) والشكل (7-V) والشكل (8-V)

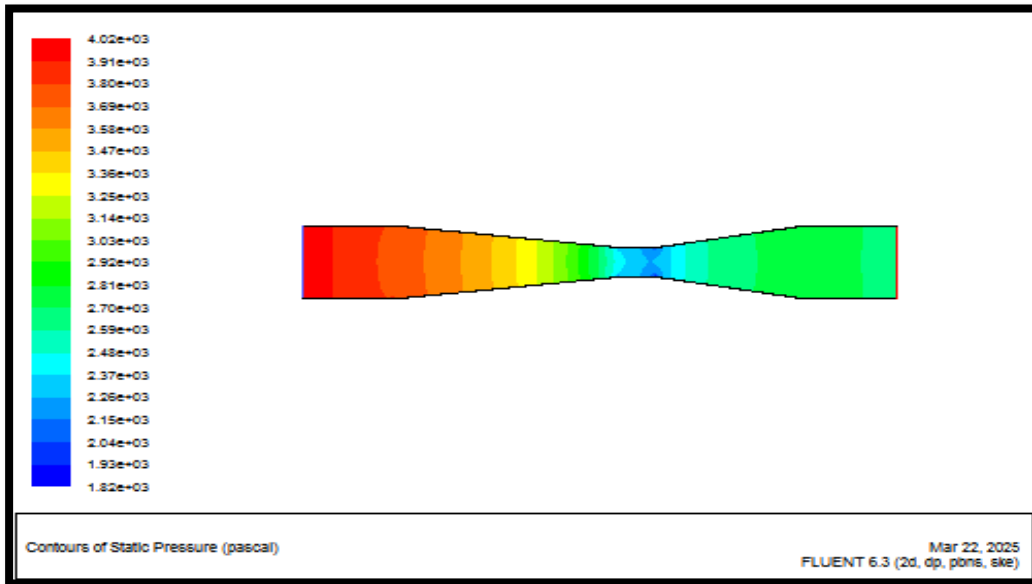


- الشكل (5-V): تغير الضغط الستاتيكي عند الجدار على طول أنبوب فنتوري من أجل جريان مضطرب من خلال المنحنى البياني لتغير الضغط الستاتيكي عند الجدار على طول أنبوب فنتوري من أجل جريان مضطرب الموضح في الشكل (5-V) نلاحظ أن الضغط الستاتيكي عند جدار مدخل الأنبوب يتناقص تدريجيا حتى يبلغ جدار عنق الأنبوب ثم يأخذ في التزايد عند جدار مخرج الأنبوب حتى تصل إلى قيمة أقل من قيمة المدخل.



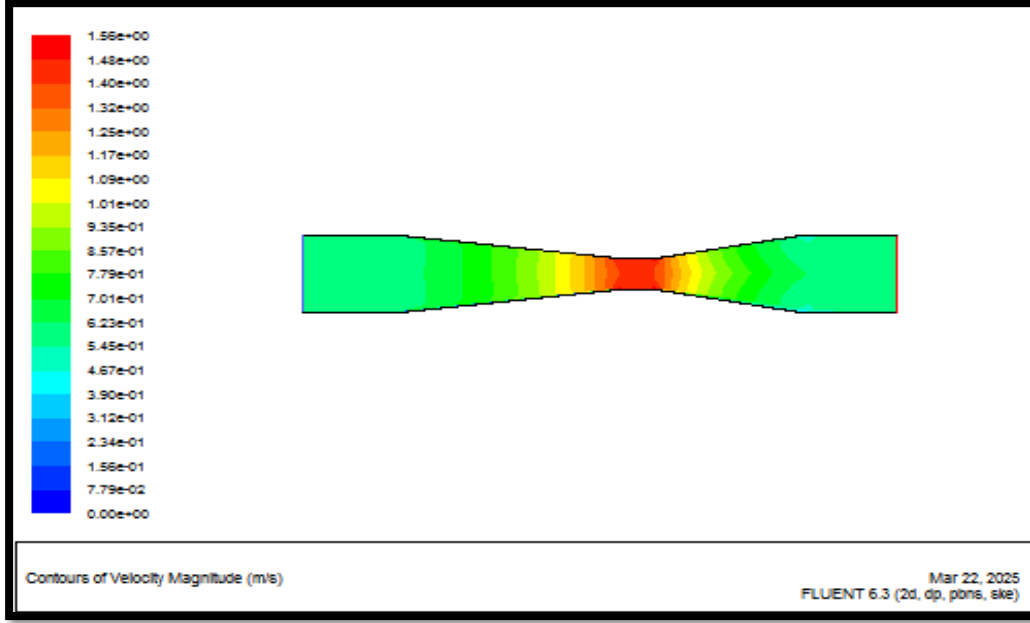
الشكل (6-V): تغير السرعة عند المحور على طول أنبوب فنتوري من أجل جريان مضطرب

- من خلال المنحنى البياني لتغير السرعة عند المحور على طول أنبوب فنتوري من أجل جريان مضطرب الموضح في الشكل (6-V) نلاحظ أن السرعة عند المحور على طول أنبوب فنتوري تتزايد من مدخل الأنبوب حتى تصل إلى أعلى قيمة عند عنق الأنبوب لتأخذ في التناقص حتى مخرج الأنبوب مساوية لتلك عند المدخل.



الشكل (7-V): توزيع الضغط الستاتيكي داخل أنبوب فنتوري من أجل جريان مضطرب

- من خلال المحاكاة لتوزيع الضغط الستاتيكي داخل أنبوب فنتوري من أجل جريان مضطرب الموضح في الشكل (7-V) نلاحظ أن مقدار الضغط الستاتيكي يتناقص من المدخل حتى تصل إلى أقل قيمة عند عنق الأنبوب ليأخذ في التزايد حتى مخرج الأنبوب لتصل إلى قيمة أقل من قيمة المدخل.

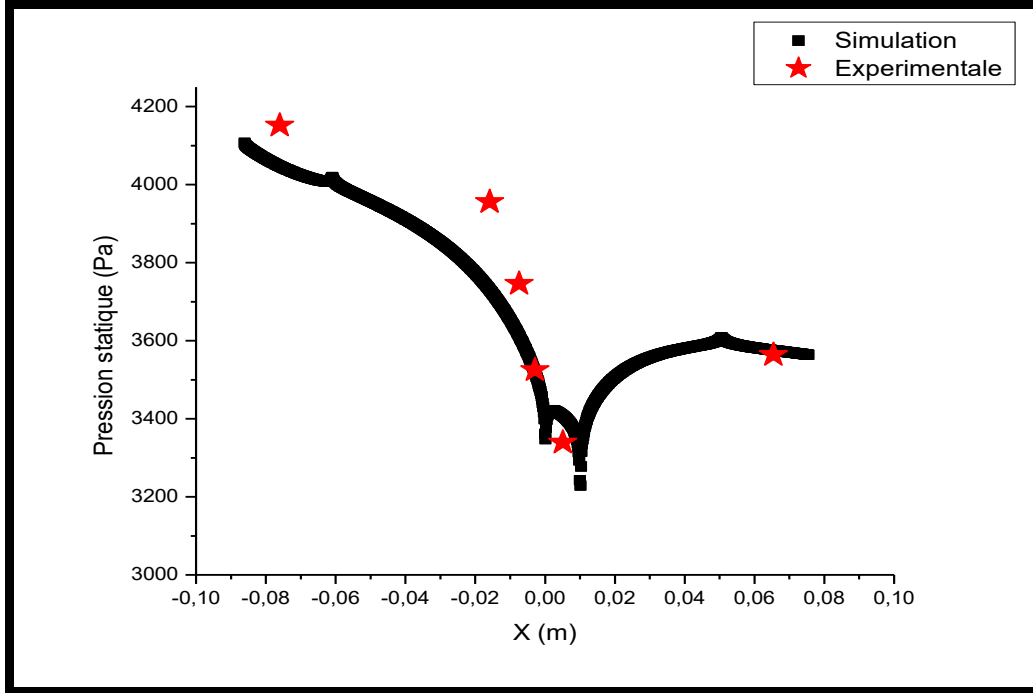


الشكل (8-V): توزيع السرعة داخل أنبوب فنتوري من أجل جريان مضطرب

- من خلال المحاكاة لتوزيع السرعة داخل أنبوب فنتوري من أجل جريان مضطرب الموضح في الشكل (8-V) نلاحظ أن مقدار السرعة يتزايد من المدخل حتى تصل إلى أعلى قيمة عند عنق الأنبوب لتأخذ في التناقص حتى مخرج الأنبوب مساوية لتلك عند المدخل.

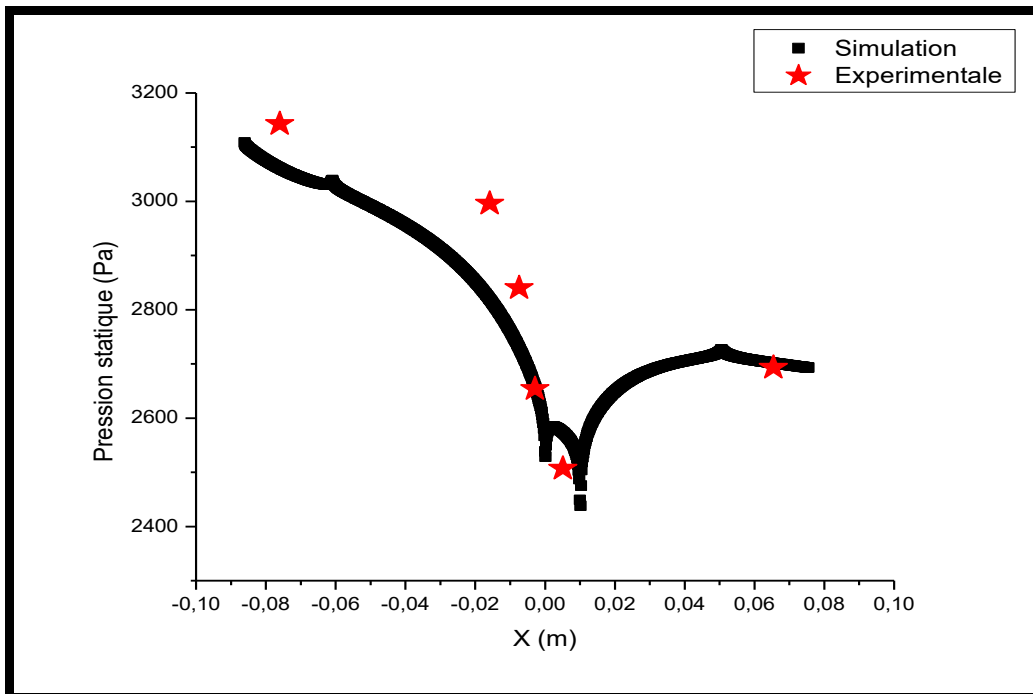
4. المقارنة بين النتائج التجريبية ونتائج المحاكاة العددية:

للمقارنة بين النتائج التجريبية ونتائج المحاكاة العددية لتغيرات الضغط الستاتيكي على طول جدار الأنبوب من أجل رقم رينولدز Re عند المدخل محدد، تم حساب الضغط الستاتيكي الموضحة في الجدول (1-V). وتم انجاز المنحنيات البيانية لتغيرات الضغط الستاتيكي التجريبية و المحاكاة العددية المبينة في الأشكال (9-V)، (10-V)، (11-V)، (12-V)، (13-V)، (14-V).



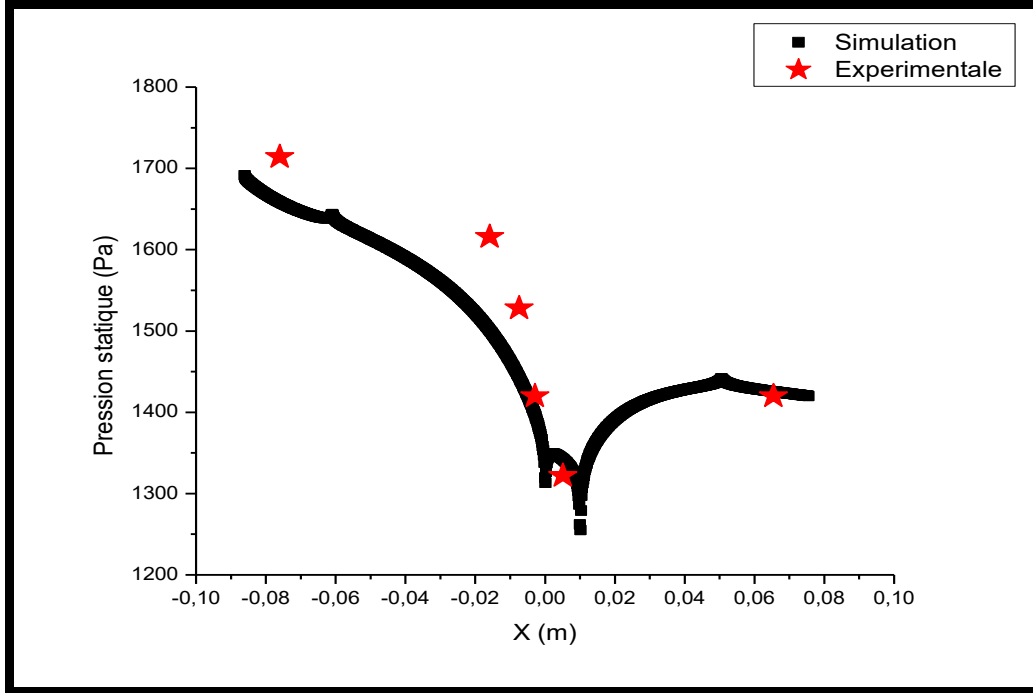
الشكل (9-V): تغير الضغط الستاتيكي المحسوب عن طريق التجربة والمحاكاة على طول جدار الأنبوب

من أجل رقم رينولدز عند المدخل $Re = 4610$



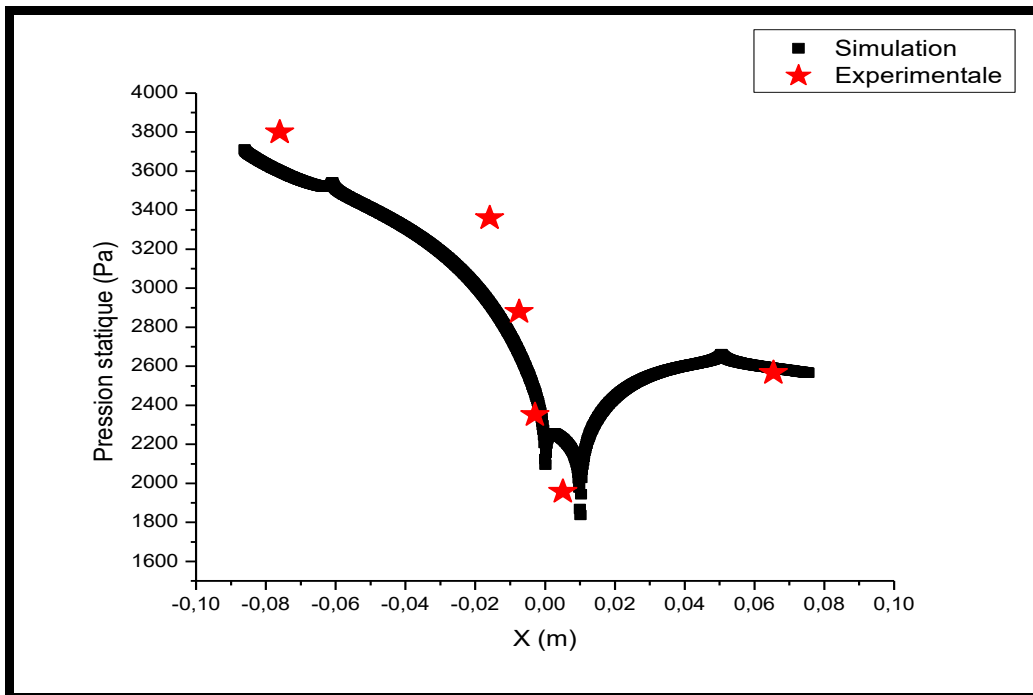
الشكل (10-V): تغير الضغط الستاتيكي المحسوب عن طريق التجربة والمحاكاة على طول جدار الأنبوب

من أجل رقم رينولدز عند المدخل $Re = 3918$



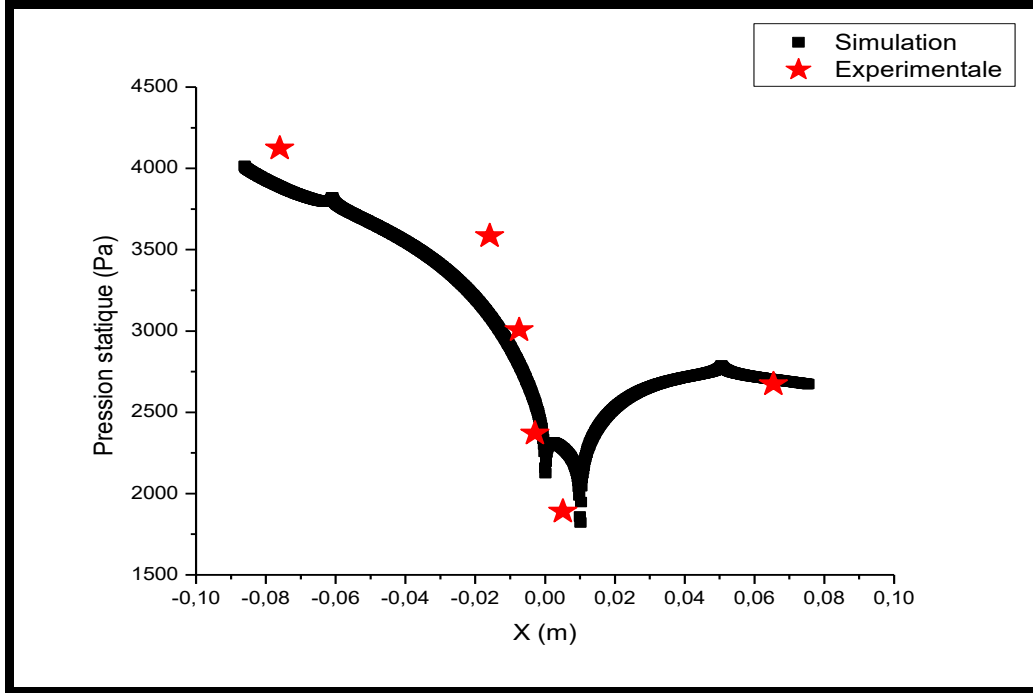
الشكل (11-V): تغير الضغط الستاتيكي المحسوب عن طريق التجربة والمحاكاة على طول جدار الأنبوب

من أجل رقم رينولدز عند المدخل $Re = 3179$



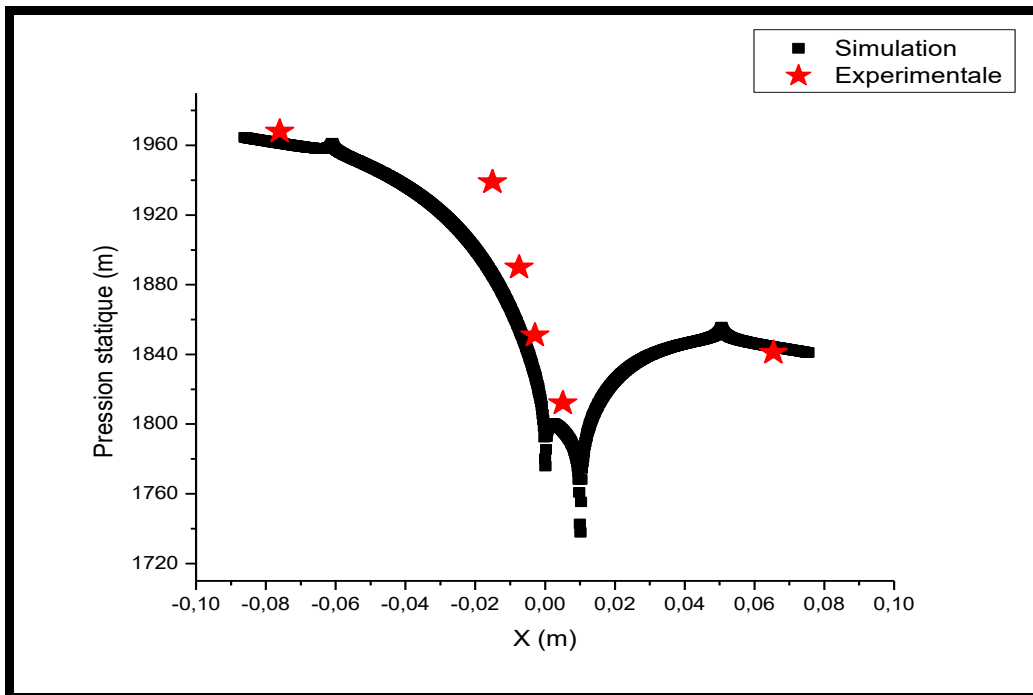
الشكل (12-V): تغير الضغط الستاتيكي المحسوب عن طريق التجربة والمحاكاة على طول جدار الأنبوب

من أجل رقم رينولدز عند المدخل $Re = 7542$



الشكل (V-13): تغير الضغط الستاتيكي المحسوب عن طريق التجربة والمحاكاة على طول جدار الأنبوب

من أجل رقم رينولدز عند المدخل $Re = 7888$



الشكل (V-14): تغير الضغط الستاتيكي المحسوب عن طريق التجربة والمحاكاة على طول جدار الأنبوب

من أجل رقم رينولدز عند المدخل $Re = 1985$

- من خلال المنحنيات المبينة في الأشكال (9-V)، (10-V)، (11-V)، (12-V)، (13-V)، (14-V)، نلاحظ أن تغيرات قيم الضغط الستاتيكي التجريبية تتوافق مع قيم المحاكاة العددية على طول جدار الأنبوب من أجل أي رقم رينولدز .
- اما الاختلاف الظاهر بين بعض قيم الضغط الستاتيكي التجريبي والمحاكاة العددية يعود إلى بعض الأخطاء التي تكون قد وقعت سهوا أثناء القياس خلال إجراء التجربة.

5. الخاتمة:

من خلال الدراسة التجريبية والمحاكاة العددية لجريان الموائع داخل أنبوب فنتوري تمكنا من تقديم النتائج المختلفة التي تم الحصول عليها، ومناقشتها، إذ تعتبر هذه الدراسة كإضافة إلى دراسات سبقتها لإثبات أنه يمكن الاعتماد على المحاكاة العددية كدراسة أولية لأي مشروع هيدروليكي وهذا من أجل تحقيق كفاءة أفضل في وقت وجيز.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة

الظواهر الفيزيائية تحتاج دائما إلى حلول علمية نظرية تثبتتها الحلول التجريبية من أجل تفسيرها، ولكن هذه الظواهر يحكمها نظام مشكّل من معادلات معقدة (معادلات الاستمرارية، كمية الحركة والطاقة)، بعض المعادلات يمكن حلها واثباتها تجريبيا وبعضها الآخر يستحيل حلها عمليا، علاوة على ذلك المدة الزمنية التي تتطلب اثباتها، المبالغ المالية التي تتطلبها والمخاطر التي تنجر عنها. في هذا البحث المتواضع الذي تم فيها الدراسة التجريبية والمحاكاة العددية لجران الموائع داخل أنبوب فنتوري. حيث تم الدراسة العددية حول التغير في الضغط الستاتيكي وسرعة المائع داخل أنبوب فنتوري من أجل جريان مضطرب وآخر رقائقي، وهذا من اجل معرفة تطابق النتائج التجريبية مع المحاكاة العددية. وكانت النتائج:

- الاعتماد على برنامج Gambit 2.3.16 لإنجاز مجسمات رقمية تتطابق مع المجسمات التجريبية.
 - الاعتماد على برنامج المحاكاة "Fluent Solver 6.3.26" لإجراء المحاكاة الرقمية وحل المعادلات التي تحكم المشكلات الفيزيائية.
 - توزيع الضغط الستاتيكي والسرعة في أنبوب فنتوري.
 - الشبكة المستخدمة في المحاكاة الرقمية ليس لها تأثير على النتائج.
 - تم التنبؤ بتأثير فنتوري بشكل جيد من خلال النموذج الحالي.
 - النتائج العددية تتفق مع تلك التي تم الحصول عليها تجريبيا.
 - يؤدي الاختلاف في طول أنبوب فنتوري إلى انخفاض كبير في الضغط.
- ومن منظور العمل الحالي، نقترح:
- نمذجة العمل الحالي باستخدام تقريب ثلاثي الأبعاد.
 - دراسة التأثير الحراري على تغير الضغط في أنبوب فنتوري (يشمل معادلة الطاقة في النموذج العددي).

أفاق مستقبلية:

توفر التكنولوجيا العلمية، خاصة بعد التطور السريع للكمبيوتر وبرامجه وسائل تساهم في التطور العلمي، من برامج المحاكاة العددية التي من شأنها توفر الوقت والمال بحل المعادلات المعقدة وإجراء التجارب بالمحاكاة وتكرارها لعدة مرات من أجل الحصول على نتائج أدق، ولهذا يجب مواكبة التطور التكنولوجي الذي لا يعرف التوقف نحو استراتيجيات أفضل.

المراجع:

- [1] محمد تقي الكامل، ميكانيك الموائع Fuid Mecanics، الطبعة الثانية ، العراق: موقع الكتروني ، 2018.
- [2] المؤسسة العامة للتدريب التقني و المهني، أساسيات الحرارية و الموائع، السعودية : المملكة العربية السعودية، طبعة 2008.
- [3] محمود أحمد عمري، أساسيات في علم الموائع، الطبعة الأولى، الأردن: مكتبة المجتمع العربي للنشر و التوزيع ، 2014م - 1435هـ.
- [4] عبدالماجد أحمد ،عصام محمد، صالح إبراهيم، وآخرون ، الموائع، الخرطوم - السودان: الدار السودانية للكتب، 2001.
- [5] Jiří Kozák, Pavel Rudolf, Martin Hudec, David Štěf and Matěj Forman, Numerical and experimental investigation of the cavitating flow within Venturi tube, ISROMAC 2017 International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, United States ,Decembre 2017.
- [6] Hongbo Shi, Mingda Li, ingxia Liu, and Petr Nikrityuk, Experimental and Numerical Study of Cavitating Particulate Flows in a Venturi Tube, Department of Chemical and Materials Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada, 2020.
- [7] Hongbo Shi, Mingda Li, Petr Nikrityuk, and Qingxia Li, Experimental and Numerical Study of Cavitation Flows in Venturi Tubes: from CFD to an empirical model, Department of Chemical and Materials Engineering, University of Alberta, Edmonton, AlbertaCanada, Canada, 2019 .
- [8] Peng Li, Liang Ma, Miaomiao Wang1c, and Xin Zhao, Flow field characteristics analysis of Venturi tube with cavity, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao, China, 2022.
- [9] San Luis B., and Tolentino Masgo ,Experimental and numerical study of the pressure of the water flow in a venturi tube, Department of Mechanical Engineering, Universidad Nacional Experimental Politécnica, Antonio José de Sucre Vice-Rectorado Puerto Ordaz, Bolívar, Venezuela, january-june de 2020.
- [10] اللبي عبدالقادر، دروس في ميكانيك الموائع، الطبعة الأولى، جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي، 2018.

- [11] محسن ميمونة و الأخوص تبر، دراسة حول جريان الموائع داخل الأنابيب وبعض لواحقها، ” جامعة الشهد حمه لخضر، الوادي، 2024.
- [12] سراوي ثريا ، عبید رحمه، ”دراسة تجريبية ونظرية للضياح في الطاقة لمختلف الوصلات الأنبوبية في الشبكات (دراسة خاصة بالماء)“، جامعة قاصدي مرباح ، ورقلة ، 2023.
- [13] أكرم أمير العلي، ”مصادر كيميائية“، 30 03 2025. <https://chemistrysources.com>.
- [14] أصيل نجيب آخرون، تحديد فواقد الإحتكاك في الأنابيب، اليمن: جامعة صنعاء، 2020.
- [15] T. E. Faber, Venturi Tube, The Editors of Encyclopaedia Britannica, 15 09 2021. www.britannica.com/science/fluid-mechanics/Hydrostatics. [Accessed 13 04 2025].
- [16] Abahri Salah, Simulation numérique d'un écoulement à l'intérieur d'un tube de venturi, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2018.
- [17] H. Bennadir, et D. Oulad Haddar, Contribution à l'étude expérimentale et numérique de l'écoulement de fluide à travers un tube de Venturi, Université de Ghardaia, Ghardaia, 2019.
- [18] A. Tukimin, M Zuber, and K. A. Ahmad , CFD analysis of flow through Venturi tube and its discharge coefficient, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Putra Malaysia, Malaysia, 2016 .
- [19] Fluent Incorporated, GAMBIT 2.2 Tutorial Guide, Fluent, Incorporated Centerra Resource Park, Lebanon ,September 2004.
- [20] Fluent Incorporated, Centerra Resource Park 10 Cavendish Court, FLUENT 6.3 UDF Manual, Lebanon, September 2006.