



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي



رقم الترتيب:

رقم التسلسل:

مذكرة تخرج لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

تخصص: فيزياء الإشعاع

من إعداد الطالبين: محسن ميمونة و الأخوص تبر

الموضوع

دراسة حول جريان الموائع داخل الأنابيب وبعض لواحقها

نوقشت يوم: 2024/06/23

أمام اللجنة المكونة من الأساتذة :

رئيسا

أستاذ محاضر - أ -

د: محلو السعيد

مشرفا

أستاذ محاضر - أ -

د: اللبي عبد القادر

ممتحنا

أستاذ محاضر - أ -

د: حاج عمار محمد علي

الموسم الجامعي: 2024/2023

شكر وتقدير

الشكر لله أولاً مصداقاً لقوله «ولئن شكرتم لأزيدنكم»

ومن الوفاء أن يرد الفضل لأصحابه فنتقدم بجزيل الشكر

إلى الأستاذ المشرف الدكتور الليبي عبد القادر

على ما قدمه لنا من توجيهات من جميع نواحي المذكرة

ولأعضاء لجنة المناقشة كل باسمه على تفضلهم بمناقشة المذكرة

كما نتقدم بالشكر والتقدير لكل من قدم لنا يد المساعدة

أثناء إنجاز هذا العمل



إِهْدَاء

من الطالبة: محسن ميمونة لى:

الوالدين الكريمين حفظهما الله

زوجي الذي تحمل معي عبء العمل والدراسة حرسه الله بعينه التي لا تنام

إخوتي وأخواتي كل واحد بإسمه هم سندي في مسراتي وعثراتي

صديقاتي: منى - ربيعة - آمال - الزهرة بوجودهن تزهري حياتي

زملاء العمل و الدراسة جميعا

إلى

من أحبهم قلبي ونسيهم قلمي



إِهْدَاء

من الطالبة: الأخص تيرلى:

النبع الذي يفيض بالحنان، إلى من سهرت وتعبت لأكبر وأصل **أمي** الغالية

النبع الذي يفيض بالأمان، إلى الذي شقى لأسعد وكد ليوصلني إلى من

إرتسمت صورته في خيالي فكان قدوة في أعمالي **أبي** العزيز

منارة البيت: **مريم، الزهرة، حليلة، بن سالم، أسامة** حفظهم الله

حبيبي وتوئم روعي، إلى من بعثت في روعي الثقة والاستقرار، إلى مصدر

طاقتي وإلهامي، إلى ابنتي الغالية **بثينة**

إلى رمز البركة **جدتي** حفظها الله

أهدي ثمرة جهدي هذه



فهرس المحتويات

الصفحة

العنوان

شكر وتقدير

إهداء

فهرس المحتويات

فهرس الجداول

فهرس الأشكال

المقدمة العامة

1 المقدمة

الفصل الأول: مفاهيم ومعادلات أساسية

3 1- الموائع

3 1- تعريف الموائع

3 2- أنواع الموائع

3 1-2- موائع مثالية

4 2-2- موائع حقيقية (سوائل و غازات)

4 3- الموائع القابلة للإنضغاط والموائع غير القابلة للإنضغاط

4 1-3- موائع قابلة للإنضغاط

4 2-3- موائع غير قابلة للإنضغاط

5 4- الخواص الفيزيائية للموائع

5 1-4- اللزوجة

5 2-4- الكتلة الحجمية

5 3-4- الوزن النوعي (الثقل النوعي)

5 4-4- الكثافة

5 5-4- الحجم النوعي

- 6-4- التوتر السطحي.....6
- 7-4- الإنضغاطية.....6
- ||- المعادلات الأساسية في ميكانيكا الموائع.....6
- 1- معادلة الاستمرارية (حفظ الكتلة).....6
- 2- معادلة برنولي.....7
- 3- معادلة نافير ستوكس.....8

الفصل الثاني: جريان الموائع في الأنابيب وبعض لواحقها

- 1- الإنسياب الرقائقي والإنسياب المضطرب.....10
- 1-1- الإنسياب الرقائقي (الطبقي) أو الصفائحي.....10
- 2-1- الإنسياب المضطرب.....11
- 1-2- رقم رينولدز.....11
- 2-2- رقم رينولدز الحرج.....12
- 3- فواقد الطاقة.....13
- 1-3- فواقد الطاقة الناتجة عن الإحتكاك داخل الأنابيب مستديرة المقطع.....14
- 2-3- فواقد الطاقة الثانوية.....14
- 1-2-3- فقد السمت عند المدخل.....14
- 2-2-3- فقد السمت عند المخرج.....15
- 3-2-3- الفقد نتيجة التقلص.....16
- 4-2-3- الفقد نتيجة التوسع المفاجئ.....16
- 5-2-3- الفقد في وصلات مختلفة.....17

الفصل الثالث: دراسة تجريبية لحساب ضياع الطاقة في الأنابيب ولواحقها

- التجربة الأولى: فقدان الطاقة في وصلات الأنابيب.....18
- 1- الهدف من التجربة.....18
- 2- الأدوات التجريبية.....18

21	3- الإجراءات التجريبية.....
22	4- النتائج و الحسابات.....
24	5- مناقشة النتائج.....
25	التجربة الثانية: فقدان الطاقة في الأنابيب
25	1- الهدف من التجربة.....
25	2- الأدوات التجريبية.....
27	3- الإجراءات التجريبية
28	4- النتائج والحسابات.....
32	5- مناقشة النتائج.....
32	6- خلاصة الدراسة التجريبية.....

الفصل الرابع: المحاكاة العددية

33	1- برنامج Gambit.....
33	2- برنامج Fluent.....
33	3- الجريان الرقائقي داخل الأنابيب.....
34	1-3- توزيع السرعة والضغط داخل الأنبوب في حالة الجريان الرقائقي.....
35	2-3- توزيع منحنى السرعة داخل المقطع العرضي للأنبوب في حالة الجريان الرقائقي
35	3-3- تغيير السرعة داخل المقطع العرضي للأنبوب من أجل مواضع مختلفة في حالة الجريان الرقائقي
36	4- الجريان المضطرب داخل الأنابيب.....
36	1-4- توزيع السرعة داخل الأنبوب في حالة الجريان المضطرب.....
36	2-4- توزيع منحنى السرعة داخل المقطع العرضي للأنبوب في حالة الجريان المضطرب.....
37	3-4- تغيير السرعة داخل المقطع العرضي للأنبوب من أجل مواضع مختلفة في حالة الجريان المضطرب.....
37	5- الجريان داخل وصلات مختلفة.....
37	1-5- توزيع السرعة والضغط داخل وصلة على شكل حرف (T).....

2-5-	توزيع السرعة والضغط داخل وصلة على شكل كوع نصف قطر انحناءه يساوي الصفر.	38
3-5-	توزيع السرعة والضغط داخل وصلة على شكل كوع ذو نصف قطر انحناء طويل.....	39
4-5-	توزيع السرعة والضغط داخل وصل على شكل توزيع مفاجئ في مقطع الأنبوب.....	40
6-5-	توزيع السرعة والضغط داخل وصلة على شكل تقلص مفاجئ في مقطع الأنبوب.....	41
6-	مناقشة النتائج.....	42
7-	خلاصة المحاكاة العددية	43
	المراجع	44
	الخاتمة	46
	الملخص	

فهرس الجداول

الجدول(1-1)	مقارنة بين الغازات والسوائل	3
الجدول (1-2)	قيم معاملات فاقد الشحنة الثانوي لوصلات المواسير	17
الجدول (1-3)	النتائج التجريبية لفقدان الطاقة في وصلات الأنابيب	22
الجدول (2-3)	نتائج تجربة فقدان الطاقة داخل الأنابيب	30

فهرس الأشكال

الشكل(1-1)	توزيع السرعة لمائع مثالي	4
الشكل(2-1)	توزيع السرعة لمائع حقيقي	4
الشكل (3-1)	التوتر السطحي	6
الشكل (4-1)	أنبوب تيار	7
الشكل (1-2)	تجربة رينولدز	10
الشكل (2-2)	الإنسياب الرقائقي	11
الشكل (3-2)	الإنسياب المضطرب	11
الشكل (4-2)	فقد السميت عند المدخل	14
الشكل (5-2)	معامل فقد المدخل لفتحات مختلفة	15

- الشكل (6-2) الفقد نتيجة التقلص الفجائي 16
- الشكل (7-2) الفقد نتيجة التوسع المفاجئ 16
- الشكل(3-1) جهاز دراسة فقدان الشحنة في وصلات الأنابيب 19
- الشكل (2-3) مقعد هيدروليكي F1-10 20
- الشكل(3-3) جهاز ضياع الطاقة في وصلات الأنابيب 21
- الشكل (4-3) تغيير فقدان الشحنة بدلالة التدفق 24
- الشكل (5-3) جهاز دراسة فقدان الشحنة الناتج عن الاحتكاك داخل الأنابيب F1-18 26
- الشكل (3-6) جهاز اختبار الإحتكاك داخل الأنابيب F1-18 27
- الشكل (7-3) تغيير فقدان الشحنة بدلالة التدفق 31
- الشكل (8-3) منحنى يوضح تغير معامل الاحتكاك f بدلالة رقم رينولدز Re 31
- الشكل (1-4) توزيع السرعة داخل جزء من الأنبوب في حالة الجريان الرقائقي 34
- الشكل (2-4) توزيع الضغط داخل الأنبوب في حالة الجريان الرقائقي 34
- الشكل (3-4) توزيع منحنى السرعة داخل المقطع العرضي للأنبوب في حالة الجريان الرقائقي 35
- الشكل(4-4) تغيير السرعة داخل المقطع العرضي للأنبوب من أجل مواضع مختلفة في حالة الجريان الرقائقي 35
- الشكل (5-4) توزيع السرعة داخل جزء من الأنبوب في حالة الجريان المضطرب 36
- الشكل(6-4)توزيع منحنى السرعة داخل المقطع العرضي لأنبوب في حالة الجريان المضطرب 36
- الشكل (7-4) تغيير السرعة داخل المقطع العرضي للأنبوب من أجل مواضع مختلفة في حالة الجريان المضطرب 37
- الشكل (8-4) توزيع السرعة داخل وصلة على شكل حرف (T) 37
- الشكل (9-4) توزيع الضغط داخل وصلة على شكل حرف (T) 38
- الشكل (10-4) توزيع السرعة داخل وصلة على شكل كوع نصف قطر انحناءه يساوي الصفر. 38
- الشكل (11-4) توزيع الضغط داخل وصلة على شكل كوع نصف قطر انحناءه يساوي الصفر 39
- الشكل (12-4) توزيع السرعة داخل وصلة على شكل انحناء طويل 39
- الشكل (13-4) توزيع الضغط داخل وصلة على شكل انحناء طويل 40

- الشكل (4-14) توزيع السرعة داخل وصلة على شكل توسيع مفاجئ في مقطع الأنبوب 40
- الشكل (4-15) توزيع الضغط داخل وصلة على شكل توسيع مفاجئ في مقطع الأنبوب 41
- الشكل (4-16) توزيع السرعة داخل وصلة على شكل تقلص مفاجئ في مقطع الأنبوب 41
- الشكل (4-17) توزيع الضغط داخل وصلة على شكل تقلص مفاجئ في مقطع الأنبوب 42

المقدمة

مقدمة

تعرف الموائع بأنها المواد القابلة للتشكل بشكل الأوعية التي تحتويها وتكون قادرة على السريان وهذه المواد هي السوائل والغازات، أما ميكانيكا الموائع فهو العلم الذي يدرس ميكانيكا هذه المواد، أو بمعنى آخر العلم الذي يدرس الموائع في حالة الحركة والسكون، ويعتمد أساسا على نفس المبادئ المستخدمة في ميكانيكا المواد الصلبة [1]. وقد تم تقسيم علم ميكانيكا الموائع إلى ثلاثة أقسام وهي ستاتيكا الموائع العلم الذي يبحث في الموائع التي في وضع السكون، وسينماتيكا الموائع العلم الذي يبحث في سرعة جريان المائع و التدفق، دون التطرق إلى مسببات هذا الجريان من طاقة و قوى مؤثرة، وديناميكا الموائع العلم الذي يبحث في العلاقة بين السرعة والتسارع والضغط و القوى التي يؤثر بها المائع على المحيط أو القوى التي تؤثر على المائع [2].

درس علم ميكانيكا الموائع مجال التكييف و التبريد هناك المائع المتلج الذي يسخن بواسطة مضخات خلال المواسير والهواء البارد يدفع بواسطة المراوح خلال مجاري الهواء لتكييف المنازل، أيضا الكهرباء التي نستخدمها وطرق توليدها من المساقط المائية التي تدفع الماء خلال التوربينات و التي تولد الطاقة الكهربائية، كما أن حياتنا الشخصية تعتمد تماما على ميكانيكا الموائع فالدم الذي يجري في أوردتنا و شراييننا هو عملية من عمليات ميكانيكا الموائع [1].

لهذا فإن علم الموائع من أعظم العلوم التي تم دراستها قديما وحديثا النظرية منها والتجريبية التي قام بها العديد من الباحثين في هذا المجال نذكر منهم: "Carrillo,v" الذي أجرى محاكاة تجريبية وعددية كمقياس معايرة لأنبوب فنطوري [3]، كذلك الباحث "kumar,s" قم بدراسة عن طريق محاكات لتدفق المياه في منحنى أفقي وأنبوب 90° [4]، والباحث "Walters,G" مراجعة تقنيات شبكة الأنابيب [5]، منهم كذلك "محمد عبد الوهاب" وآخرون في دراسة حوا التنبؤ العددي لفقد ضغط السوائل في تقاطع T [6]، والباحث "Chouchane,N" في دراسة عالمية ومحلية لتأثير الهندسة على خسائر التفريغ الناتجة عن العوائق المعدنية ذات الأشكال المختلفة في قناة مستطيلة حالة مائع غير قابل للضغط [7]، وفي أطروحة ماجيستير للباحث "Maamar,S" الذي قدم نمذجة ومحاكاة للتدفق في أنبوب عبر تقاطع [8]، ودراسة لتأثير الهندسة على خسائر الضغط للباحثين "Touiri,T" و "Chetioui,M" [9] والعديد من الأبحاث الأخرى، وهذا ما دفعنا إلى البحث حول جريان الموائع داخل الأنابيب ووصلات الأنابيب والضياعات في الطاقة الثانوية

منها والخطية التي تنتج عنها تركيبات أقل كفاءة في نقل الموائع، وهنا يكون الإشكال المطروح: هل يمكن التحقق من العلاقات النظرية تجريبيا في ما يخص فقدان الطاقة في الأنابيب و الوصلات؟ وهل يمكن أن تتطابق النتائج التجريبية مع نتائج المحاكاة؟.

هذا البحث ذو طبيعة نظرية وتجريبية حيث تضمنت هذه الدراسة أربع فصول، الفصل الأول تم التطرق فيه إلى تعريف الموائع وخواصها وأهم المعادلات الأساسية المستخدمة في هذا البحث وهي معادلة الإستمرارية و معادلة برنولي ومعادلة نافيرستوكس، أما في الفصل الثاني تم تقديم دراسة نظرية حول جريان الموائع في الأنابيب ولواحقها لتبدأ الدراسة بتحديد نمط الجريان تبعا لرقم رينولدز ومن ثم تحديد فواقد الطاقة في الأنابيب ووصلاتها، تليها في الفصل الثالث دراسة تجريبية لحساب ضياع الطاقة في الأنابيب ولواحقها بإنجاز تجربتين الأولى لضياع الطاقة في وصلات الأنابيب والثانية ضياع الطاقة في الأنابيب ومناقشة النتائج، أما في الفصل الأخير وهو محاكاة عددية لدراسة تغير كل من السرعة والضغط في نمطي السريان الرقائقي والمضطرب في الأنابيب ووصلاتها.

الفصل الأول

عموميات ومعادلات أساسية في علم

المواد

علم الموائع هو علم يهتم بدراسة سكون الموائع قليلة الإنضغاطية وحركتها، وذلك في حالة المجاري المفتوحة والمغلقة، وجريان الموائع داخل الأرض. كما يهتم بتطبيقات ذلك على الخزانات والقناطر ومحطات توليد الكهرباء وشبكات المياه وشبكات أنابيب نقل النفط وكذلك يهتم هذا العلم بدراسة الموائع المثالية أي غير قابلة للإنضغاط وليست لها لزوجة كما يهتم أيضا بالموائع الحقيقية أي تلك التي لها لزوجة وإنضغاطية، وعلى الرغم من التطور الكبير الذي طرأ على علم الموائع والتعدد في فروعه إلا أن الأساسيات في هذا العلم لازالت نفس أساسيات ومبادئ علم الميكانيكا التي تنطبق على المواد الصلبة على الرغم من اختلاف التسميات [2] وفي هذا الفصل سوف نختص بدراسة أهم المعادلات الأساسية كمعادلة الاستمرارية، معادلة برنولي، معادلة نافير ستوكس.

1) الموائع:

1- تعريف الموائع:

الموائع في الطبيعة هي في غالب الأحيان على شكل سوائل غازات وتختلف صورها بتعدد خصائص كل منها، حيث يتميز السائل عن الصلب بأن السوائل تأخذ شكل الإناء الذي توضع فيه، بينما الغازات تأخذ شكل وحجم الإناء الموجودة فيه، ومن أهم الفروق بين السوائل والغازات تلك الموضحة في الجدول (1-1) [10] [11] [12].

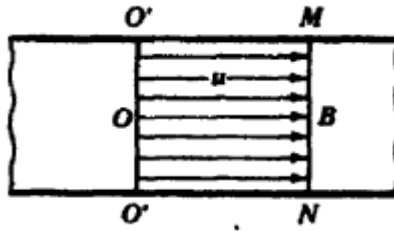
جدول (1-1): مقارنة بين الغازات والسوائل

السوائل	الغازات
- الجزيئات قريبة من بعضها البعض - غير قابلة للإنضغاط نسبيا - قوى التماسك بين الجزيئات تمسكها مع بعضها البعض مما لا يجعلها تتمدد بلا حدود - تغير طفيف على الكثافة عند تغير الضغط والحرارة، مع إمكانية وجود سطح حر	- الجزيئات بعيدة عن بعضها البعض - سهولة قابليتها للإنضغاط - تتمدد بلا حدود عند إزالة الضغط الخارجي - تتأثر الكثافة كثيرا بالتغيرات في الضغط والحرارة

2 - أنواع الموائع:

1-2- موائع مثالية: هي موائع عديمة الإحتكاك، أي أن معامل لزوجتها يساوي الصفر، و أن 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 [2].



الشكل (1 - 1): توزيع السرعة لمائع مثالي [2]

2-2- موائع حقيقية (سوائل و غازات): تحدث قوى القص المماسية دائما أثناء حركة المائع و بالتالي تقاوم الحركة وتؤدي إلى وجود الإحتكاك في المائع، وتكون قوى الإحتكاك هذه ناتجة عن خاصية تسمى خاصية اللزوجة سنتطرق لها لاحقا [2].



الشكل (1 - 2): توزيع السرعة لمائع حقيقي [2]

3 - الموائع القابلة للإنضغاط والموائع غير القابلة للإنضغاط:

1-3- موائع قابلة للإنضغاط:

في حالة الموائع القابلة للإنضغاط تكون الكتلة الحجمية للمائع غير ثابتة وتتعلق مباشرة بالضغط، وتكون ذات كثافة ثابتة وهي تمثل الغازات [2][13].

2-3- موائع غير قابلة للإنضغاط:

في حالة الموائع غير القابلة للإنضغاط تكون الكتلة الحجمية ثابتة والكثافة متغيرة ويمكن إعتبار المائع غير قابل للإنضغاط إذا كان مقدار تغير كثافة المائع قليلا جدا بالنسبة للضغط حيث يمكن إهمال هذا التغيير، وهو غير موجود في الواقع وتمثل السوائل [2][13].

4 - الخواص الفيزيائية للموائع :

1-4- الزوجية :

لزوجة المائع هي مقياس لمقاومة المائع لقوى القص أو التشوه التي تحاول تحريف شكله، حيث تحاول قوى القص فصل جزيئات المائع عن بعضها البعض مما ينتج قوى الاحتكاك، وتزداد قوة الاحتكاك كلما زادت قوى التماسك (لزوجة المائع).

لا تقتصر اللزوجة على السوائل فقط بل تعم الموائع سوائل وغازات وبها يمكن تعيين سهولة إنسياب المائع ويتحدد نمط الجريان وهي نوعان: اللزوجة المطلقة واللزوجة الديناميكية للموائع [2][14].

2-4- الكتلة الحجمية:

تعرف الكتلة الحجمية للمائع على أنها كتلة وحدة الحجم ويرمز لها بالرمز ρ أي أن:

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

إن الكتلة الحجمية خاصية ديناميكية، أي يدخل في أبعادها الكتلة والطول وحدتها (kg/m^3) أما درجة الحرارة والضغط فتأثيرهما ضئيل على الكتلة الحجمية [11][14].

3-4- الوزن النوعي (الثقل النوعي):

يعرف الوزن النوعي على أنه ثقل وحدة الحجم ويرمز له بالرمز γ وحدته (N/m^3) وأبعاده هي أبعاد القوة مقسومة على أبعاد الحجم حيث [14][12]:

$$\gamma = \frac{mg}{v} = \rho g \quad (2-1)$$

4-4- الكثافة :

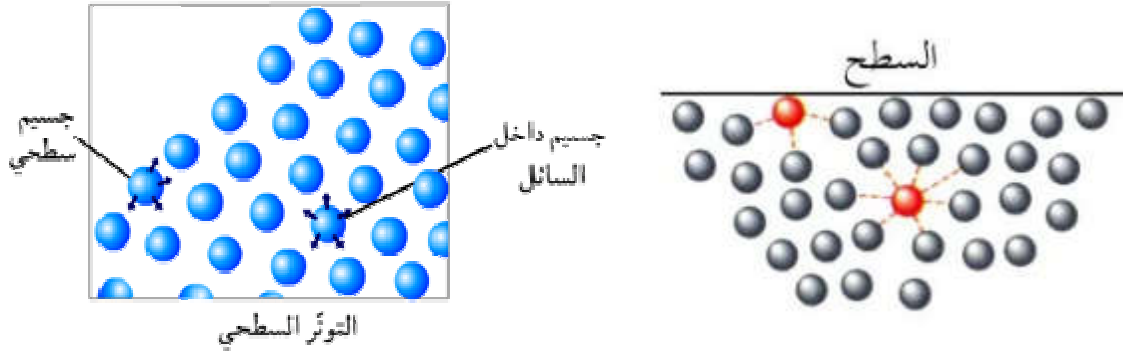
وتعرف على أنها النسبة بين الكتلة الحجمية للمادة و الكتلة الحجمية للماء وهذا بالنسبة للسوائل ويرمز لها بالرمز d وهي نسبة بدون وحدة، وعلى سبيل المثال كثافة الماء تساوي 1 وللزئبق تساوي 13.6 [15].

5-4- الحجم النوعي:

هي مقلوب الكتلة الحجمية ووحدته هي (m^3/kg) وأبعاده $(L^3 M^{-3})$ [14].

4-6- التوتر السطحي:

تنشأ ظاهرة التوتر السطحي (الشُد) من قوة التجاذب الموجودة بين الجزيئات والتي تؤثر على بعد صغير جدا من السطح كما هو مبين في الشكل (3-1): [10].



الشكل (1 - 3): التوتر السطحي [16]

4-7- الانضغاطية:

يمكن ضغط المائع بضغط خارجي يسلب على حجم منه و الانضغاطية تعرف بدلالة متوسط معامل المرونة الحجمي والذي يرمز له بالرمز \bar{K} حسب المعادلة التالية:

$$\bar{K} = - \frac{(P_2 - P_1)}{\frac{v_2 - v_1}{v_1}} \quad (3 - 1)$$

V_1 و V_2 حجم الماء عند الضغط على التوالي P_1 و P_2 والإشارة (-) تشير إلى أن زيادة الضغط تؤدي إلى انخفاض الحجم.

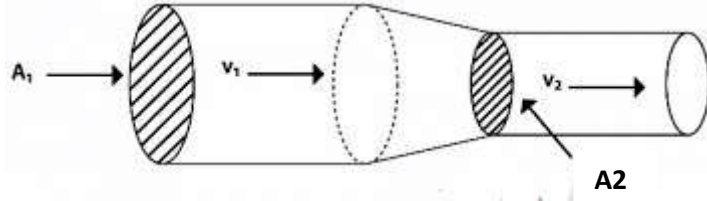
عموما تكون قابلية السوائل للانضغاط في حدود أقل بكثير من الغازات [11].

II) المعادلات الأساسية في ميكانيكا الموائع:

1- معادلة الإستمرارية (حفظ الكتلة):

معادلة الإستمرارية تعبر عن أن المطلوب عند سريان المائع أن تكون العملية مستمرة، وأن الكتلة التي تمر عبر أي مقطع في وحدة الزمن تكون ثابتة، ولا بد أن يكون نوع الانسياب معلوما، مثلا في بعد أو بعدين أو ثلاث أبعاد [11].

بما أن الكتلة يجب أن تظل باقية فإن كتلة المائع التي تدخل من أحد طرفي الأنبوبة يجب أن تكون نفس الكمية التي تخرج من الطرف الآخر خلال فترة محددة من الزمن وهذا هو نص نظرية الاستمرارية، والتي يمكن تطبيقها على الإنسياب المستقر القابل للانضغاط أو غير قابل للانضغاط داخل حدود ثابتة [2].



الشكل (1 - 4): أنبوب تيار [2]

ومن هنا نكتب التالي :

$$m = \rho_1 \times A_1 \times v_1 = \rho_2 \times A_2 \times v_2 \quad (4 - 1)$$

وهذه المعادلة الأخيرة تعرف بمعادلة الإستمرارية أو قانون حفظ الكتلة. أي أن معدل السريان الكتلي يكون ثابتا عبر جميع المقاطع [1].

وفي حالة الموائع غير القابلة للانضغاط تكون الكتلة الحجمية ثابتة أي أن:

$$A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 \quad (5 - 1)$$

كما أن معادلة الإستمرارية يمكن أن تكتب على شكلها المحلي التفاضلي كمايلي:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{v}) = 0 \quad (6 - 1)$$

وفي حالة الجريان غير قابل للانضغاط تكتب على الشكل:

$$\text{div}(\vec{v}) = 0 \quad (7 - 1)$$

أي أن:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (8 - 1)$$

2- معادلة برنولي:

إن نظرية برنولي في حالة الموائع المثالية تنص على أن مجموع طاقة الضغط وطاقة الحركة وطاقة الوضع (الطاقة الكلية) لأي جسم من مائع ما يسري في مسار معين يظل ثابتا عند أي مقطع على طول ذلك المسار، إذا لم يكن هناك فقد أو اكتساب طاقة من البيئة حول ذلك المسار أو بمعنى آخر فإن :

طاقة الضغط + طاقة الحركة + طاقة الوضع = ثابت عند أي مقطع

يمكن كتابة معادلة برنولي عند تطبيقها بين نقطتين في المائع بالصيغة الآتية :

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (9 - 1)$$

إن التقسيم بين هذه الطاقات يمكن أن يختلف باختلاف المقطع ولكن الطاقة الكلية تظل ثابتة.

أما في حالة الموائع الحقيقية فيمكن تعميم معادلة برنولي و ذلك بإدخال فواقد الشحنة أو ما يسمى بفواقد الطاقة ΔH كالآتي:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \Delta H \quad (10 - 1)$$

علما أن هذه الفواقد هي مجموع الفواقد الخطية على طول الأنبوب و الثانوية في (الوصلات) كما سنرى ذلك في الفصل الثاني.

3- معادلة نافير ستوكس:

تعد معادلات نافير ستوكس من أهم المعادلات الفيزيائية حيث تصف عدد كبير من الظواهر ذات التطبيقات في العديد من المجالات البحثية و التطبيقية، و هي معادلات غير خطية تصف حركة الموائع النيوتينية، حيث تحدد مثلا حركة الهواء، التيارات البحرية، جريان السوائل في المجاري والأنابيب وجريان الغازات حول الأجسام الطائرة. أخذت هذه المعادلات إسمها من الفيزيائيين "كلود نافير و جورج جابرييل ستوكس" في القرن التاسع عشر.

تنتج هذه المعادلات من تطبيق قانون نيوتن الثاني على حركة الموائع، بإفتراض أن إجهاد المائع هو مجموع إنتشار اللزوجة (متناسبا مع تغير السرعة) بالإضافة إلى تغير الضغط .

ونذكر هنا الصيغة العامة لمعادلات نافير ستوكس وذلك بعد تطبيق قانون نيوتن الثاني و اسقاطها على المحاور الثلاثة [10]:

$$\frac{du}{dt} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (11 - 1)$$

$$\frac{dv}{dt} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (12 - 1)$$

$$\frac{dw}{dt} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (13 - 1)$$

حيث أن :

$$\frac{du}{dt} : \text{يمثل التسارع الكلي}$$

$\frac{\partial u}{\partial t}$: يمثل التسارع المحلي

الكمية $u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z}$ تمثل التسارع الحملّي أو الإنتقالي.

(x,y,z) تمثل الإتجاهات الثلاثة.

(X,Y,Z) تمثل مركبات قوى الحجم لوحدة الكتلة.

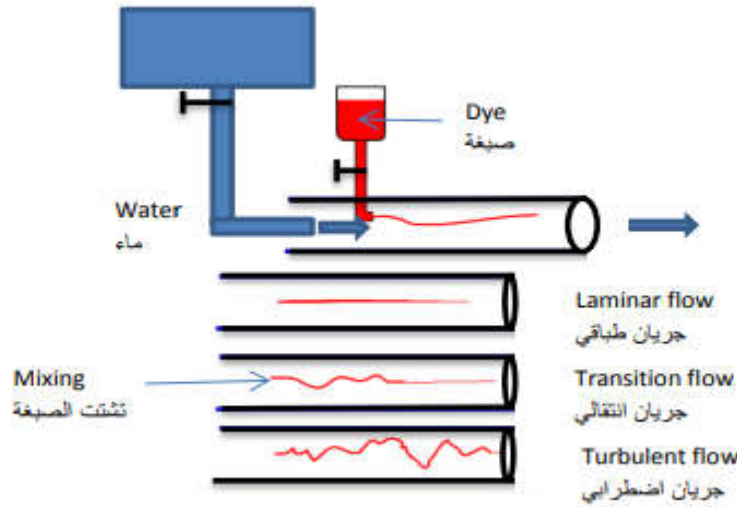
الفصل الثاني

جريان الموائع في الأنايب ولواحقها

يمثل الجريان في الأنابيب جانبا مهما في الدراسة حيث تعتمد طبيعة الجريان في الأنابيب على سرعة المائع وعلى خواصه الفيزيائية وقطر الأنبوب ويتخذ الجريان نمطا معيناً حسب قيم هذه المتغيرات.

1 - الأنسياب الرقائقي والانسباب المضطرب

لقد درس العالم الفرنسي رينولدز نوعان مميزان من الأنسياب في عام 1883م حيث حقن سائلا ملونا (الصبغة) له نفس كثافة الماء على مدخل أنبوب زجاجي يمر خلاله ماء من خزان كما هو موضح في الشكل (1-2)، وقد تمكن بواسطة الصمام الموجود على طرف الأنبوبة من تغيير معدل الأنسياب، إذ لاحظ أنه عندما كانت سرعة الماء منخفضة كان يسير بخط مستقيم أو خطوط مستقيمة ومتوازية، ومع الزيادة التدريجية لسرعة الماء عن طريق فتح الصمام لاحظ أن هناك نقطة تغير عندها الأنسياب بحيث كان عندها الخط متعرجا أولا ومن ثم ينكسر إلى دوامات عديدة [2].



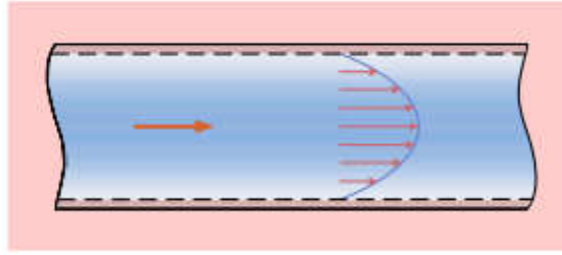
الشكل (1-2): تجربة رينولدز [2]

اذ لوحظ أن هناك نوعين من الأنسياب وهما :

1-1- الأنسياب الرقائقي (الطبقي) أو الصفائحي:

يتحرك المائع في الجريان الطبقي على شكل رقائق متناهية السماكة وتنزلق هذه الرقائق فوق بعضها البعض دون أن تختلط جسيمات المائع حيث تتحرك في خطوط

مستقيمة أو مسارات أو خطوط سريان محددة وملحوظة حيث تلعب لزوجة المائع دورا مهما في هذا النوع من الجريان.

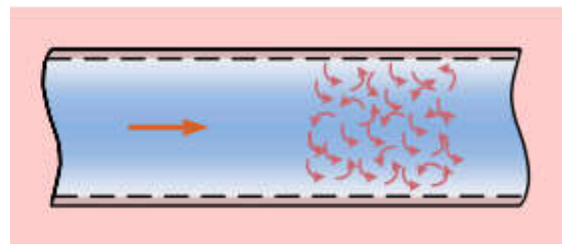


الشكل (2-2): الإنسياب الرقائقي [1]

1 - 2 - الإنسياب المضطرب :

إذا كانت سرعة هذا السريان عالية نسبيا مع لزوجة صغيرة للمائع فعادة ما يكون السريان مضطربا، حيث تتحرك جسيمات المائع في مسارات غير منتظمة جدا، ولا وجود لطبقة منفردة بل هناك تداخل مستمر فهي حركة عشوائية ثلاثية الأبعاد لجسيمات المائع المدفوعة في وسط الحركة، محدثا تبادلا في طاقة الحركة فيما بين جسيمات السريان الموجودة بأحجام مختلفة [12].

وحيث تتغير الظروف يمكن أن يتحول السريان من طور إلى آخر، فيمكن التحول من السريان الطبقي إلى السريان المضطرب أو العكس بحيث يمر بصورة ثالثة من السريان المطلق عليها السريان المختلط أو السريان الإنتقالي وهي المرحلة التي يتم فيها العبور أو الإنتقال من السريان الطبقي إلى المضطرب أو العكس.



الشكل (2 - 3): الانسياب المضطرب [1]

1-2- رقم رينولدز:

عند إنسياب مائع في مجرى مملوء كاملا فإن الجاذبية لا تؤثر على نمط (نوع) الإنسياب ومن الواضح أن الخاصية الشعرية لا تكون ذات أهمية من الناحية العملية وبالتالي فإن القوى المؤثرة هي قوى القصور الذاتي، إحتكاك المائع كنتيجة للزوجة.

عند الأخذ بعين الإعتبار النسبة بين قوى القصور الذاتي وقوى اللزوجة فإن الناتج يسمى رقم رينولدز نسبة للعالم "لاوس بورن رينولدز" الذي قام بعدة تجارب وقد نشرت عام 1882م، ولكن العالم "اللورد رايلي" هو الذي أظهر نظرية التشابه الديناميكي بعد ذلك الوقت بعشر سنوات [2].

وتعطى عبارة رقم رينولدز كالآتي :

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} \quad (1-2)$$

D : تمثل قطر الأنبوب

V : تمثل سرعة الجريان

ρ : تمثل الكتلة الحجمية

μ : تمثل معامل اللزوجة الديناميكية

ونعلم أن $\mu/\rho = \nu$ وهي تمثل معامل اللزوجة الحركية وبالتالي يمكن كتابة رقم رينولدز بالعلاقة التالية:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (2-2)$$

2-2- رقم رينولدز الحرج:

تعتبر القيمة 2000 لرقم رينولدز عن القيمة الفاصلة بين الإنسياب الرقائقي والإنسياب المضطرب وتتغير قيمة رقم رينولدز الحرج بشكل طفيف وقيمتها تكون أكبر من 2000 في الماسورة التي يتناقص مقطعها، وتكون قيمتها أقل من 2000 إذا كان مقطعها يتزايد وهي شبه ثابتة في الماسورة المستديرة المقطع.

معنى ذلك أنه عندما يتزايد قطر الأنبوب يصبح الجريان أقرب إلى المضطرب عند سرعات أدنى والعكس صحيح يتأثر الجريان كذلك بخشونة أو نعومة سطح الماسورة وينخفض رقم رينولدز الحرج (أي يصبح الجريان أقرب إلى المضطرب) كلما إزدادت الخشونة، حيث يمكن أن ينخفض رقم رينولدز الحرج إلى 1000 للمواسير زائدة الخشونة، وللمواسير الإعتادية يمكن إعتداد الرقم 2000 على أنه رقم رينولدز الحرج [2].

حيث:

نظام الجريان رقائقي $Re < 2000$

نظام الجريان إنتقالي $2000 < Re < 3000$

نظام الجريان مضطرب $Re > 3000$

3 - فواقد الطاقة :

3-1- فواقد الطاقة الناتجة عن الإحتكاك داخل الأنابيب مستديرة المقطع:

يفقد المائع غير القابل للانضغاط جزء من طاقته أثناء الجريان داخل الأنابيب، ويعبر عن الطاقة المفقودة h_f عادة بدلالة عمود المائع والمعادلة التالية تبين كمية الطاقة المفقودة بالإحتكاك:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (3-2)$$

حيث:

f يمثل معامل الإحتكاك وهو لابعدي وهو دالة لرقم رينولدز

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3-2)$$

L يمثل طول الأنبوب موضع الدراسة.

D يمثل قطر الأنبوب.

V تمثل سرعة الجريان.

تسمى المعادلة أعلاه معادلة دارسي وتستخدم لحساب سمت الطاقة المفقودة في المواسير الدائرية المقطع المملوءة بمائع غير قابل للانضغاط [2].

السمت المفقود هو سمت الضغط أي أن ضغط المائع يهبط أثناء الجريان بسبب الإحتكاك ومن الجدير بالذكر أنه قد تم التعبير عن فقد سمت الضغط بدلالة سمت السرعة $\left(\frac{V^2}{2g}\right)$.

2-3 فواقد الطاقة الثانوية:

تتعدد أسباب وأشكال فواقد الطاقة ولكن أهم هذه الفواقد هو الإحتكاك وهناك بعض القواعد المحدودة الأثر مثل تغير مساحة المقطع، الأكواع، المحابس والصمامات.

عندما تكون مسافات المواسير قصيرة مثل خطوط أنابيب المضخات فإن الفواقد الثانوية المذكورة أعلاه تصبح ذات أهمية مقارنة بفواقد الإحتكاك الذي تكون أهميته في المواسير الطويلة حيث تعتبر الفواقد الأخرى غير مهمة في المواسير الطويلة لأن قيم الفواقد الناتجة عنها تعتبر قليلة جدا بالمقارنة مع فواقد الإحتكاك.

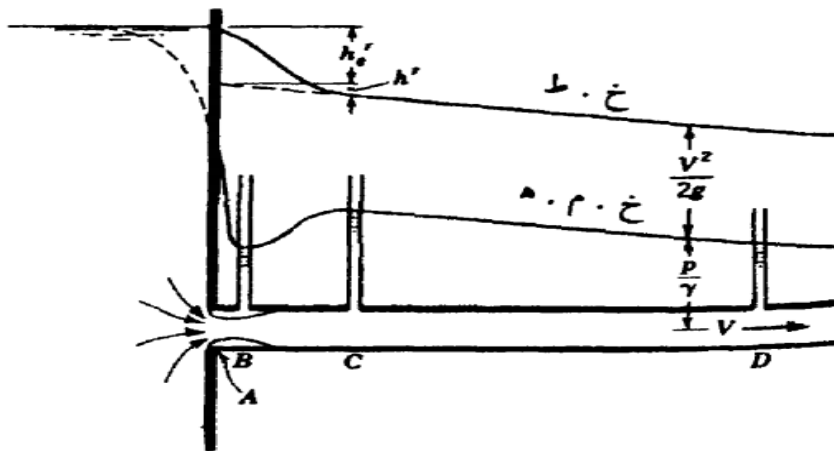
فمثلا يعتبر فقدان السميت مهما عند مدخل ماسورة سحب لمضخة وخاصة في حالة وجود صمام سفلي وقد يكون أكبر بكثير من فاقد الإحتكاك في ماسورة المدخل القصيرة.

وعندما تتغير سرعة الإنسياب إما في المقدار أو في الإتجاه فإن تيارات دوامية تتكون وينتج عن ذلك فقد في الطاقة يزيد عن فاقد الإحتكاك لنفس طول الماسورة، ويتناسب مقدار هذا الفاقد مع مقدار التغير الفجائي في السرعة.

وفي الغالب يتم التعبير عن فواقد الطاقة الثانوية h_s بدلالة سميت السرعة مضروبا في معامل الفاقد الثانوي K :

$$h_s = K \frac{V^2}{2g} \quad (4-2)$$

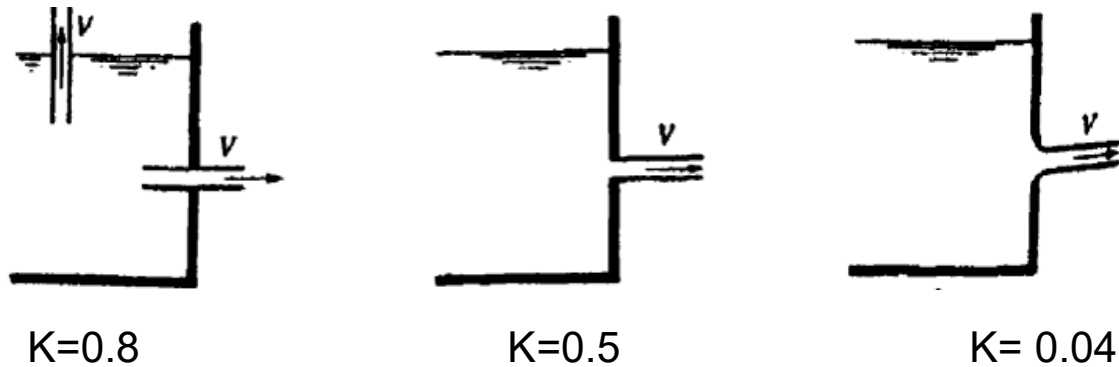
1-2-3 فقد السميت عند المدخل:



الشكل (2 - 4): فقد السميت عند المدخل [2]

بالرجوع إلى الشكل (2 - 4) فإنه يمكن ملاحظة أنه كلما دخل المائع من الخزان إلى الماسورة فإن خطوط السريان تحاول التقارب من بعضها البعض كما لو كانت خطوط نفث يندفع من فوهة ذات حافة حادة بحيث يوجد عند النقطة B أقصى سرعة وأقل ضغط كما يبين ذلك عمود البيزومتر ويكون السريان في هذه النقطة محاطا بمائع في حالة اضطراب وذو حركة تقدمية بطيئة جدا بين B و C يصبح المائع في حالة تشويش كبيرة لأن الإنسياب يتجدد وتنخفض السرعة بينما يرتفع الضغط (لاحظ خط الميل الهيدروليكي - خ م ه - وخط الطاقة - خ ط -).

من C إلى D يصبح الإنسياب عاديا لاحظ خط الميل الهيدروليكي، من الملاحظ أن فقد الطاقة عند المدخل يكون موزعا على طول المسافة من A إلى C وهذه المسافة تعادل عدة أضعاف قطر الماسورة، وكمية الطاقة المفقودة خلال هذا الطول أكبر بكثير من الطاقة المفقودة بالإحتكاك لنفس المسافة ويبين الشكل (2-5) تغير معامل الفقد بتغير فتحة المدخل.



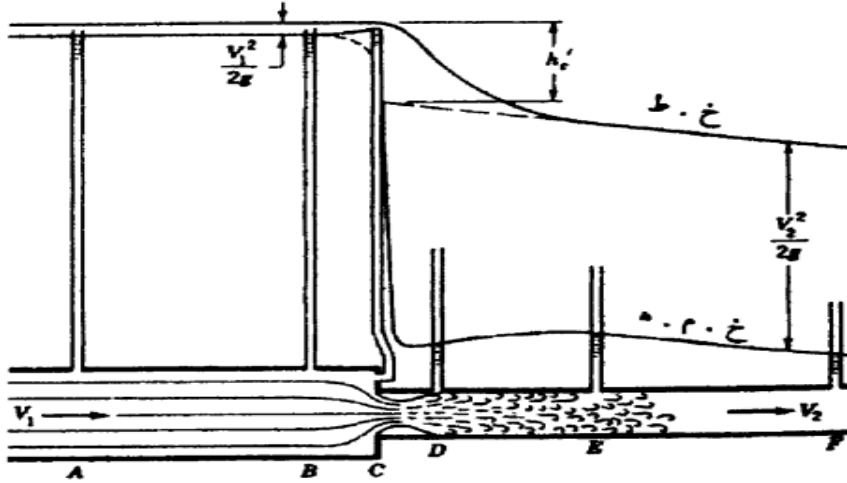
الشكل (2 - 5): معامل فقد المدخل لفتحات مختلفة [2]

2-2-3 فقد السميت عند المخرج:

عند تصريف مائع بسرعة إلى داخل خزان كبير لدرجة أن السرعة بداخله تكون مهملة فإنه يتم إمتصاص طاقة الحركة بكاملها وبالتالي فإن فقد المخرج يساوي $\frac{V^2}{2g}$ أي أن K للمخرج تساوي 1.00 وهذا حقيقي ويمكن إثبات ذلك بتطبيق معادلة برنولي التي تبين أن طاقة الضغط داخل الخزان تكون صفرا، وفي جميع الحالات يكون معامل فقد المخرج 1.00 [2].

3-2-3 الفقد نتيجة التقلص:

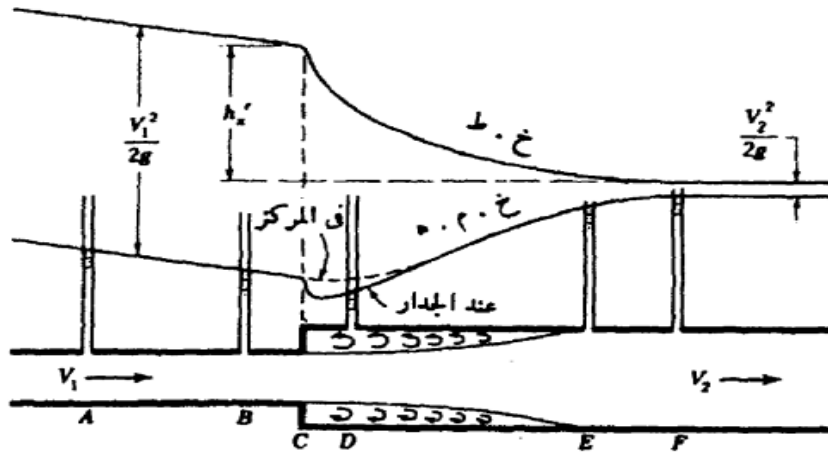
يبين الشكل (2-6) الظواهر التي توضح التقلص الفجائي في المقطع ويبين البيزومتر انخفاض ملحوظ في ضغط خط الميل الهيدروليكي كنتيجة لزيادة السرعة التي يبينها الفرق بين خط الميل الهيدروليكي وخط الطاقة.



الشكل (2 - 6): الفقد نتيجة التقلص الفجائي [2]

3-2-4 الفقد نتيجة التوسع المفاجئ:

يبين الشكل (2-7) ظروف التوسع الفجائي حيث يسجل خط الميل الهيدروليكي ارتفاعا في الضغط بسبب انخفاض السرعة، ولكن هذا الإرتفاع ليس كافيا لتعويض الإنخفاض في السرعة كما هو موضح فإن حالة من الإضطراب توجد في المنطقة من النقطة C إلى E ويصبح بعدها الإنسياب عاديا.



الشكل (2 - 7): الفقد نتيجة التوسع المفاجئ [2]

5-2-3 الفقد في وصلات مختلفة:

يبين الجدول (1-2) قيم معامل فاقد الشحنة الثانوي K والنسبة ويبين كذلك النسبة L/D المكافئة لكل من الوصلات المذكورة حيث يمكن إيجاد الفاقد بدلالة الإحتكاك للطول المكافئ المبين في الجدول [2].

الجدول (2 - 1): قيم معاملات فاقد الشحنة الثانوي لوصلات المواسير

L/D	K	الوصلة
32	0.9	كوع نصف قطر قصير
27	0.75	كوع نصف قطر متوسط
20	0.60	كوع نصف قطر طويل
67	1.8	وصلة T
75	2.2	انحناء عائد كامل U

في الإنسياب عبر الإنحناءات والأكواع توجد زيادة في الضغط على طول الجدار الخارجي وانخفاض في الضغط على طول الجدار الداخلي، وبعد تجاوز منطقة الإنحناء وعودة الإنسياب إلى وضعه الطبيعي، يأخذ الضغط بالإرتفاع تدريجياً على حسب انخفاض السرعة. يعتمد فقد الطاقة عند الأكواع إلى حد كبير على النسبة بين نصف قطر الإنحناء ونصف قطر الماسورة [2].

بعد الدراسة النظرية للضياعات في الطاقة من جانب نظري سنقوم في الفصل الموالي بدراسة تجريبية مخبرية لهذه الضياعات في الأنابيب ووصلاتها الثانوية منها والخطية.

الفصل الثالث

دراسة تجريبية لحساب ضياع الطاقة في

الأنابيب ولوحاتها

يسود نوعان من فقدان الطاقة في تدفق السوائل عبر شبكة الأنابيب، خسائر كبيرة وخسائر طفيفة ترتبط الخسائر الكبيرة بفقدان طاقة الاحتكاك الناتجة عن التأثيرات اللزجة للوسط وخشونة جدار الأنبوب من ناحية أخرى، وترجع الخسائر الطفيفة إلى تركيبات الأنابيب والتغيرات في اتجاه التدفق والتغيرات في منطقة التدفق نظرا لتعقيد نظام الأنابيب وعدد التركيبات المستخدمة.

للتعرف على مسببات الضياع في الشحنة وطرق التقليل منه سوف نتطرق في هذا الفصل إلى بعض التجارب وهي:

التجربة 1: فقدان الطاقة في وصلات الأنابيب

التجربة 2: فقدان الطاقة في الأنابيب

التجربة الأولى : فقدان الطاقة في وصلات الأنابيب

1 - الهدف من التجربة: الهدف من هذه التجربة هو تحديد فقدان الشحنة لمجموعة من لواحق الأنابيب، بما في ذلك الانحناءات، التوسع، والتقلص، والأكواع.

2 - الأدوات التجريبية:

الأدوات المستعملة في هذه التجربة هي :

- مقعد هيدروليكي F1-10

- جهاز فقدان الشحنة في أجهزة الانحناءات F1-22

- جهاز قياس الزمن

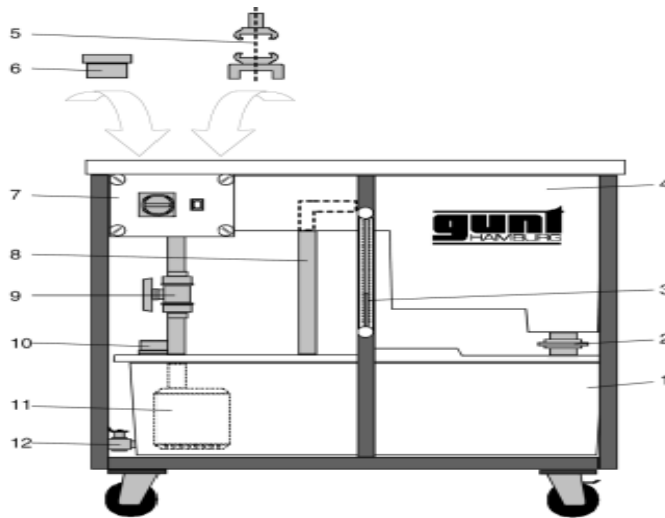
- مقياس درجة الحرارة

والشكل (3-1) يوضح جهاز فقدان الشحنة في وصلات الأنابيب



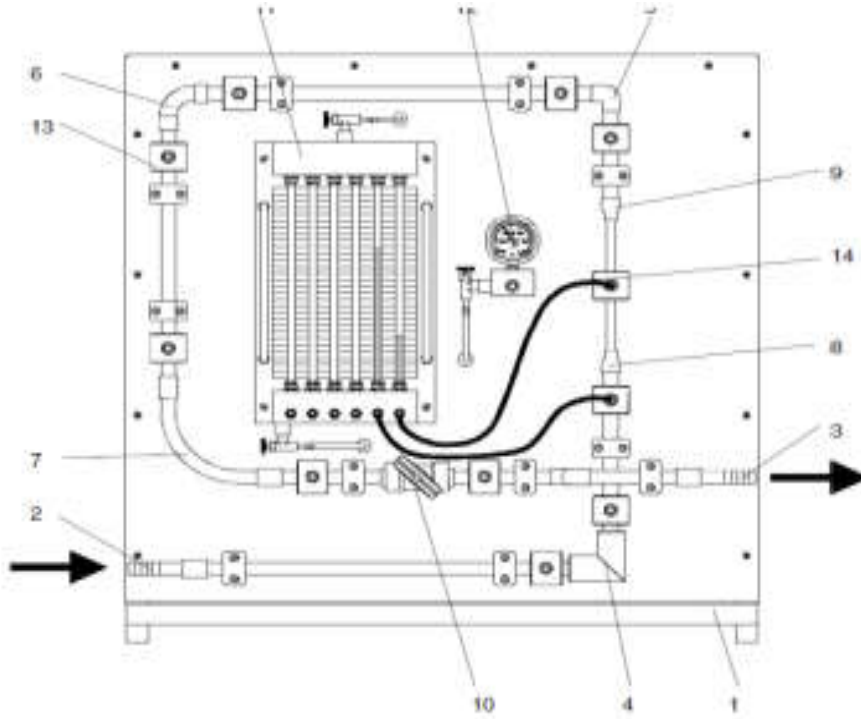
الشكل (3-1): جهاز دراسة فقدان الشحنة في وصلات الأنابيب [17]

يتكون جهاز دراسة فقدان الطاقة الناتجة عن وصلات الأنابيب من جزئين أساسيين نوضح تفاصيلهما في الشكلين: الشكل (3-2) يوضح تفاصيل المقعد الهيدروليكي الذي يعتبر جهاز تغذية مستمرة بالماء، والشكل (3-3) يوضح تفاصيل جهاز ضياع الطاقة في وصلات الأنابيب.



- | | |
|---|--|
| 1- حوض تخزين الماء | 7 - علبة المفاتيح والقواطع الكهربائية |
| 2 - صمام منزلق لاجراج الماء من حوض خاص بحساب التدفق | 8 - أنبوب للمياه الزائدة في الحوض الخاص بحساب التدفق |
| 3 - أنبوب مانومتري لقياس مستوى الماء المتدفق | 9 - صمام مراقبة التدفق من المضخة |
| 4 - حوض خاص بحساب التدفق | 10 - وصلة للتغذية بالماء من المضخة |
| 5 - لواحق لتغذية الماء من المضخة للجهاز F1-22 | 11 - مضخة مغمورة في الماء |
| 6 - غطاء التصريف | 12 - صمام تصريف وتفريغ الماء |

الشكل (3 - 2): مقعد هيدروليكي F1-10 [18]



- 1- قاعدة على شكل إطار
- 2- أنبوب وصل يغذي بالماء من الجهاز 10-9- توسيع مفاجئ
- 3- أنبوب وصل يعيد الماء للجهاز 10-F1
- 4- أنبوب على شكل مرفق حاد
- 5- أنبوب على شكل مرفق دائري
- 6- أنبوب منحنى (إنحناء قصير)
- 7- أنبوب منحنى (إنحناء طويل)
- 8- تضيق مفاجئ
- 9- صمام غلق وفتح
- 10- ست قنوات مانومتر
- 11- مانومتر أنبوبي ذو نابض
- 12- غرفة دائرية لقياس الضغط
- 13- أنابيب لوصل المانومتر بالأنبوب المدروس

الشكل (3-3): جهاز ضياع الطاقة في وصلات الأنابيب [19]

3 - الإجراءات التجريبية :

نتبع الخطوات التالية :

أولاً: تثبيت الجهاز على طاولة الهيدروليك والتأكد من أن قاعدته أفقية.

ثانياً: توصيل مدخل الجهاز بمصدر التدفق، وتشغيل أنبوب تمديد المخرج إلى الخزان الحجمي وتثبيتته في مكانه .

ثالثاً: بعد فتح الصمام المقعدي وصمام التحكم في التدفق، نشغل المضخة لملأ نظام الأنابيب وأجهزة قياس الضغط بالماء.

رابعاً: تنقية نظام الأنابيب من الهواء .

خامساً: تعديل مستوى الماء في المانومتر المائي في المجال المسموح بالقياس .

سادساً: قياس الزمن المستغرق لملأ إناء مدرج بحجم 5 لتر وذلك لحساب التدفق الحجمي.

سابعاً: أخذ قراءات ارتفاع مستوى الماء في المانومتر بعد ثبات مستوى الماء.

ثامناً : قياس درجة حرارة الماء المتدفق.

الفصل الثالث دراسة تجريبية لحساب ضياع الطاقة في الأنابيب ولواحقها

4 - النتائج والحسابات :

الحسابات :

بعد تكرار الإجراءات السابقة 4 مرات، نقوم في كل محاولة بحساب كل من :

تحديد وحساب الفرق بين مستويي الماء في المانومتر Δh بحيث :

$$\Delta h = h_2 - h_1 \quad (1-3)$$

والتدفق الحجمي Q (m^3/s) بحسب وفق العلاقة:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (2-3)$$

حيث :

ΔV التغيير في حجم السائل المتدفق

Δt زمن التدفق

جدول النتائج :

الجدول (3 - 1) النتائج التجريبية لفقدان الطاقة في وصلات الأنابيب

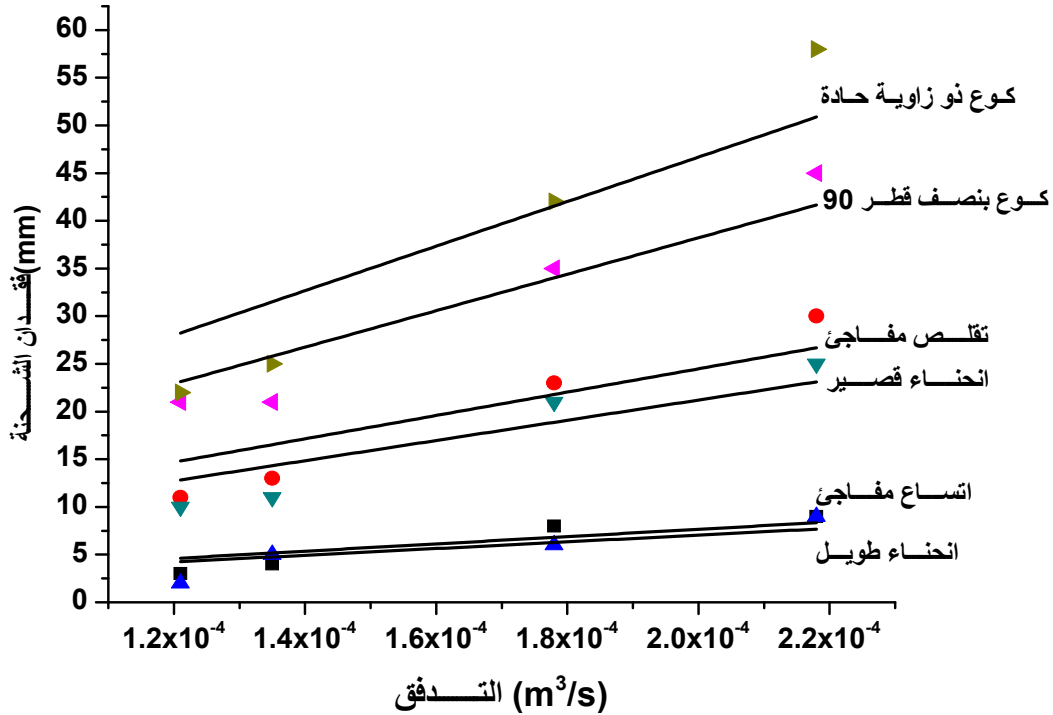
التركيبية	تجربة رقم :	مانومتر $h_1(mm)$	مانومتر $h_2(mm)$	فقدان الشحنة $\Delta h(mm)$	الحجم v (l)	الزمن t (s)	التدفق Q (m^3/s)
اتساع مفاجئ	1	203	206	3	5	41	1.21E-4
	2	227	231	4	5	38	1.35E-4
	3	244	252	8	5	28	1.78E-4
	4	260	269	9	5	23	2.18E-4
تقلص مفاجئ	1	205	194	11	5	41	1.21E-4
	2	231	218	13	5	38	1.35E-4
	3	251	228	23	5	28	1.78E-4
	4	268	238	30	5	23	2.18E-4
إنحناء	1	206	204	2	5	41	1.21E-4

الفصل الثالث

دراسة تجريبية لحساب ضياع الطاقة في الأنابيب ولواحقها

طويل	2	233	228	5	5	38	1.35E-4
	3	253	247	6	5	28	1.78E-4
	4	269	260	9	5	23	2.18E-4
إنحناء قصير	1	195	185	10	5	41	1.21E-4
	2	218	207	11	5	38	1.35E-4
	3	229	208	21	5	28	1.78E-4
	4	238	213	25	5	23	2.18E-4
كوع بنصف قطر 90°	1	181	160	21	5	41	1.21E-4
	2	201	180	21	5	38	1.35E-4
	3	198	163	35	5	28	1.78E-4
	4	158	193	45	5	23	2.18E-4
كوع ذو زاوية حادة (المتري)	1	128	106	22	5	41	1.21E-4
	2	141	116	25	5	38	1.35E-4
	3	94	52	42	5	28	1.78E-4
	4	65	7	58	5	23	2.18E-4

تم تمثيل نتائج الجدول (1-3) بمنحنيات بيانية توضح تغير فقدان الشحنة بتغير التدفق لكل وصلة أنبوبية كما يوضحه الشكل (4-3).



الشكل (3 - 4) : تغير فقدان الشحنة بدلالة التدفق

5 - مناقشة النتائج :

- بعد رسم منحنيات تغير فقدان الشحنة بتغير التدفق لكل وصلة أنبوبية نلاحظ أنه كلما زاد التدفق زاد فقدان الشحنة في جميع الوصلات.

- التغير في قطر الأنبوب سواء كان نحو التوسع أو التقلص فهو يسبب فقدان في الشحنة، ونلاحظ من خلال المنحنى أن التقلص المفاجئ أكبر ضياع للشحنة من التوسع المفاجئ.

- بالنسبة للأكواع والانحناءات نلاحظ أنه كلما كان نصف قطر تقويس الإنحناء كبير كلما كان الضياع في الطاقة أقل، حيث نلاحظ فقدان الشحنة في الإنحناء الطويل عند تدفق $0.00012 \text{ (m}^3/\text{s)}$ هو 2 (mm) بينما في نفس كمية التدفق يصل الفقدان في الشحنة إلى خمسة أضعاف أي 10 (mm) في الإنحناء القصير، ويصل إلى عشرة أضعاف وأكثر في الأكواع هذا مما يعني أن الإنحناء الطويل هو أقل ضياع للشحنة من جميع الوصلات المدروسة لأنه ثابت القطر والأقرب للإستقامة.

التجربة الثانية : فقدان الطاقة في الأنابيب

1 - الهدف من التجربة: تهدف من هذه التجربة إلى دراسة فقدان الطاقة بسبب الإحتكاك في الأنبوب، وتحديد عامل الإحتكاك المرتبط به، كذلك تحديد نظام التدفق (صفائحي أو مضطرب) بعد الحصول على رقم رينولدز ، والمقارنة بين النتائج التجريبية والنظرية.

2 - الأدوات التجريبية : الأدوات المستعملة في هذه التجربة هي:

- مقعد هيدروليكي F1-10

- جهاز فقدان الشحنة في أجهزة الانحناءات F1-18

- جهاز مقياس الزمن

- مخبر مدرج (حجم الماء المتدفق)

- مقياس درجة الحرارة

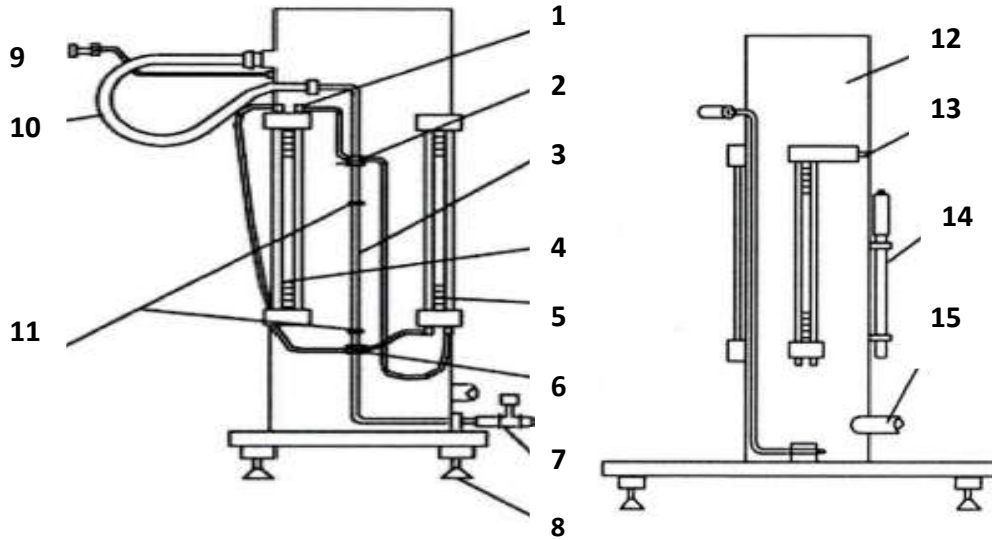
والشكل (3-5) يوضح الجهاز المستعمل في دراسة فقدان الشحنة الناتج عن الإحتكاك داخل الأنابيب F1-18.



الشكل (5-3):جهاز دراسة فقدان الشحنة الناتج عن الاحتكاك داخل الأنابيب

[17]F1-18

يتكون جهاز دراسة فقدان الشحنة الناتج عن الإحتكاك داخل الأنابيب من جزئين أساسيين كما يوضحه الشكلان (2-3) مقعد هيدروليكي F1-10 والشكل (3-6) جهاز اختبار الإحتكاك داخل الأنابيب.



- | | |
|--|----------------------------------|
| 9 - أنبوب مدخل إلى خزان الرأس الثابت | 1 - مسامير نزييف الهواء |
| 10 - أنبوب مدخل لقسم الاختبار | 2 - التنتصت على الضغط |
| 11 - مقاطع الأنابيب | 3 - أنبوب اختبار |
| 12 - خزان رأس ثابت | 4 - مقياس الضغط الزئبقي مع الحجم |
| 13 - مدخل الهواء | 5 - مقياس ضغط الماء |
| 14 - مضخة الهواء | 6 - التنتصت على الضغط |
| 15 - أنبوب مخرج مرن من فائض خزان الرأس | 7 - محبس منظم للتدفق |
| | 8 - أقدام قابلة للتعديل |

الشكل (3-6) : جهاز اختبار الإحتكاك داخل الأنابيب F1-18 [20]

3 - الإجراءات التجريبية :

أولاً : تثبيت جهاز احتكاك الأنابيب عمودياً على طاولة الهيدروليك.

ثانياً : تركيب مدخل الجهاز بالمضخة.

ثالثاً : تشغيل المضخة والتخلص من الفقاعات الهوائية باغلاق صمام الخروج وفتح مسامير التخلص من الفقاعات الهوائية فيخرج الماء مع الفقاعات الهوائية.

رابعاً : يتم فتح الصمام فتحة صغيرة والحصول على تدفق معين وبعدها نقوم بقراءة المانومتر h_1 و h_2 عن طريق المانومترات وأيضا قياس كل من الحجم والزمن.

الفصل الثالث دراسة تجريبية لحساب ضياع الطاقة في الأنابيب ولواحقها

خامسا : يتم فتح الحنفية (صمام الخروج) ليعطي تدفق أكبر من التدفق السابق وأخذ القياسات اللازمة.

سادسا : يتم إعادة الخطوات السابقة عدة مرات.

4 - النتائج والحسابات :

الحسابات :

بعد اتباع الخطوات السابقة وأخذ قيم لـ h في كل محاولة نقوم بالحسابات التالية :

تحديد وحساب الفرق بين مستويي الماء في المانومتر Δh بحيث :

$$\Delta h = h_2 - h_1 \quad (3-3)$$

والتدفق الحجمي Q (m^3/s) يحسب وفق العلاقة:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (4-3)$$

حيث :

Δt : زمن المتدفق

ΔV : حجم السائل المتدفق

حساب السرعة (ms^{-1}) حيث :

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (5-3)$$

حيث:

Q : التدفق الحجمي

D : قطر الأنبوب والمقدر بـ (m) 0.003 [20]

الفصل الثالث

دراسة تجريبية لمساج خياح الطاقة في الأنابيب ولواحقها

حساب رقم رينولدز Re : نقوم بحساب رقم رينولدز لتحديد نمط السريان، وذلك وفق العلاقة:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (6-3)$$

حيث :

ν : السرعة المتوسطة لتدفق الماء

ν : اللزوجة الحركية للمائع وهي ثابتة ومتعلقة بدرجة الحرارة ، عند درجة الحرارة $(20C^\circ)$ المقاسة في هذه التجربة فإن معامل اللزوجة الحركية يقدر بـ : $1.002 \times 10^{-6} (m^2 / s)$ [20]

D : قطر الأنبوب

تحديد نوع السريان:

نحدد نوع السريان رقائقي أو مضطرب بعد حساب رقم رينولدز حيث:

$Re < 2000$ يصنف جريان رقائقي

$Re > 2000$ يصنف جريان مضطرب

حساب معامل الاحتكاك f : يتم حساب معامل الاحتكاك f بطريقتين :

أ) طريقة تجريبية : نعتمد على العلاقة التالية :

$$\Delta h = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \Rightarrow f = \Delta h \frac{2gD}{V^2 L} \quad (7-3)$$

بحيث :

D قطر الأنبوب

L طول الأنبوب المقدر بـ (0.5 m)

g ثابت الجاذبية الأرضية (9.81 N/kg)

ب) طريقة نظرية : حسب نمط السريان نحدد العلاقة الحسابية بحيث :
في النمط الرقائقي:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (8-3) \quad [20]$$

في النمط المضطرب:

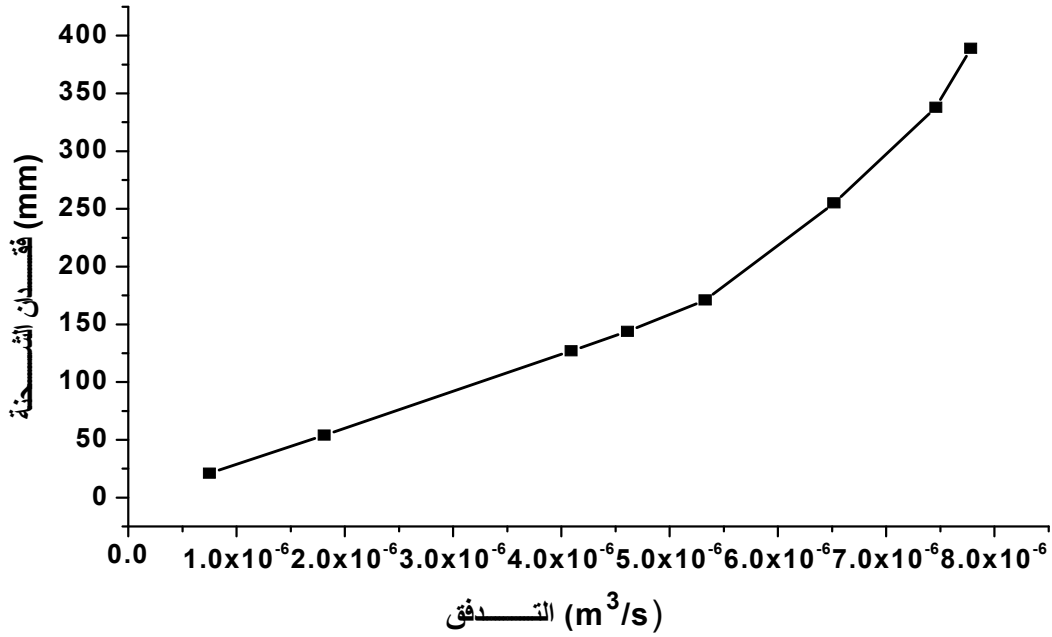
$$[20] f = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (9-3)$$

جدول النتائج :

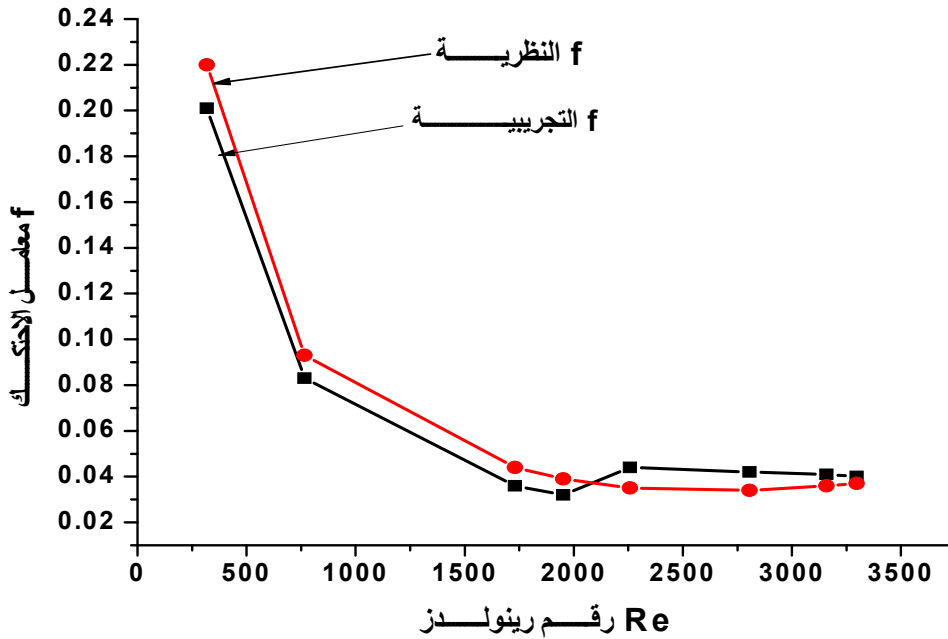
الجدول (3 - 2): نتائج تجربة فقدان الطاقة داخل الأنابيب

التجربة رقم :	h1	h2	Δh (mm)	V(l)	t (S)	Q (m ³ /S)	V (m/S)	Re	النظرية f	التجريبية f
01	277	223	54	0.420	231	1.81E-6	0.256	766.46	0.083	0.093
02	308	181	127	0.548	134	4.09E-6	0.578	1730.5	0.036	0.044
03	328	157	171	0.400	75	5.33E-6	0.754	2257.47	0.044	0.035
04	405	67	338	0.515	69	7.46E-6	1.055	3158.67	0.041	0.036
05	431	42	389	0.568	73	7.78E-6	1.101	3296.39	0.040	0.037
06	316	172	144	0.540	117	4.61E-6	0.652	1952.08	0.032	0.039
07	368	113	255	0.548	84	6.52E-6	0.937	2805.37	0.042	0.034
08	263	242	21	0.180	239	0.75E-6	0.106	317.36	0.201	0.220

تم تمثيل نتائج الجدول (2-3) بمنحنيات بيانية، الشكل (3-7) هو منحنى بياني يوضح تغير فقدان الشحنة بتغير التدفق، والشكل (3-8) منحنيين بيانيين يوضحان تغير قيم معامل الاحتكاك بتغير رقم رينولدز لقيم نظرية وقيم تجريبية.



الشكل (3 - 7): تغير فقدان الشحنة بدلالة التدفق



الشكل (3-8): منحنى يوضح تغير معامل الاحتكاك f بدلالة رقم رينولدز Re

5 - مناقشة النتائج :

- نلاحظ هناك تقارب بين القيم النظرية والقيم التجريبية في حساب معامل الاحتكاك f إلى حد كبير في حدود بعض الأخطاء التجريبية، كما نلاحظ أن هناك علاقة عكسية بين معامل الاحتكاك f ورقم رينولدز Re .

- عندما يكون السريان رقائقي الضياع في الشحنة يكون أقل مما إذا كان السريان مضطرب.

6 - خلاصة الدراسة التجريبية:

بعد دراسة مختلف الضياعات في وصلات الأنابيب وجد أن الإنحناء الطويل هو أفضل وصلة لأنها تسبب أقل ضياع للطاقة، كما أن زيادة التدفق يسبب ضياع أكبر في الطاقة، كذلك نجد أن ضياع الطاقة بسبب الاحتكاك داخل الأنابيب أكبر بكثير مقارنة بالضياع في الطاقة الذي تسببه الوصلات الأنبوبية حيث أكبر قيمة لضياع الطاقة في الوصلات المدروسة هي في الكوع ذو زاوية حادة يصل إلى (58 mm) بينما الضياع في الطاقة بسبب الاحتكاك يصل إلى (389 mm). ونستخلص من هذه الدراسة التجريبية إلى أن شبكات التغذية والتوصيل بالموائع يجب دراستها وإعدادها جيدا قبل الشروع في إنجازها وهذا أمر ضروري للحفاظ عليها والتقليل من الضياعات في الطاقة.

بعد هذه الدراسة التجريبية التي تم فيها التأكد من ضياع الطاقة في الأنابيب ووصلاتها سنتطرق في الفصل القادم إلى دراسة بمحاكاة عددية لنوضع تغير السرعة والضغط داخل الأنابيب في الجريان المضطرب والرقائقي، كذلك بعض لواحق الأنابيب في الجريان الرقائقي.

الفصل الرابع

محاكاة عروية

تعتبر المحاكاة هي أداة أساسية في مجال الإلكترونيات والاتصالات، فمن خلالها يمكن إعادة إنشاء وتحليل السيناريوهات المعقدة، مما يسمح لنا بفهم سلوك الأنظمة والتنبؤ بها قبل تنفيذها فهي عبارة عن تجارب رقمية حقيقية عندما تتم بعناية. فقد تم استخدام البرامج الحاسوبية المخصصة لمحاكات تفاعلات الموائع مثل Ansys Fluent، والتي تعتمد على حل المعادلات الرياضية والفيزيائية للموائع المراد محاكاتها مثل: الكثافة، واللزوجة والضغط ودرجة الحرارة.

1- برنامج Gambit: هو برنامج يسمح لنا بإنشاء الشكل الهندسي وإنشاء الشبكات التي يمكن استخدامها خاصة في ظل برنامج Fluent [21].

2- برنامج Fluent: هو برنامج آلي لنمذجة تدفق السوائل ونقلها في الأشكال الهندسية المعقدة، يوفر Fluent مرونة شبكية كاملة، بما في ذلك القدرة على حل مشاكل التدفق [21]. ولتطبيق هذا البرنامج في دراستنا لهذا الجزء نتبع الخطوات التالية :

أولاً: نقوم باسترداد الملف (mesh) الذي تم إنشاؤه ضمن Gambit، ونظراً لأن هندستنا مبنية على خيار ثنائي الأبعاد يبدو أن الاختيار 2D هو الأنسب لمحاكاتنا.

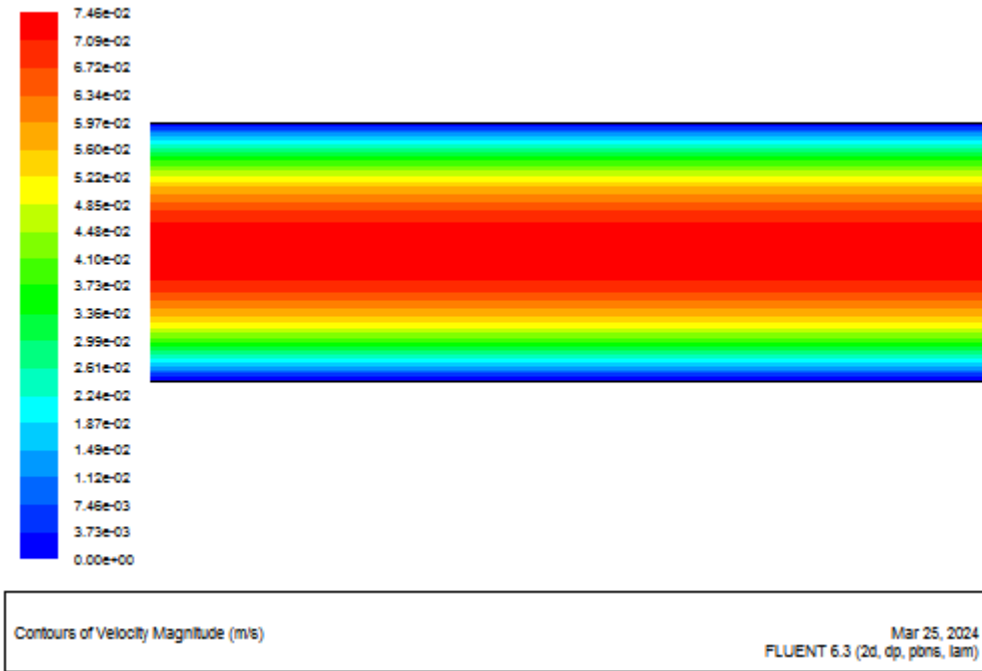
ثانياً: بعد إيراد الشكل الهندسي يجب علينا ادخال المعلومات الشروط الخاصة بنا للمحاكاة من خلال اختيار نموذج Solver ، سنختار نوع المائع ونوع السريان، ثم نقوم بتحديد خصائص السائل المستخدم وضبط قيمة الشروط المحدية.

ثالثاً: يجب علينا اختيار عدد التكرارات لبدأ العمليات الحسابية ونظهر النتائج التي يتم عرضها في هذا الفصل.

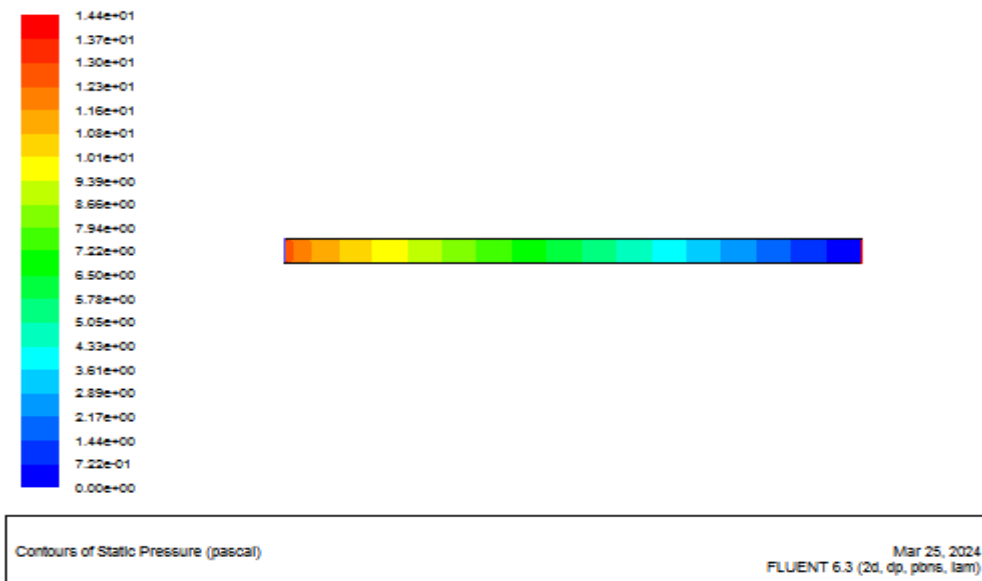
3 - الجريان الرقائقي داخل الأنابيب:

نعتبر أن قطر الأنبوب يساوي 1m، طول الأنبوب يساوي 20m، معامل اللزوجة الديناميكية للمائع يساوي هو $\mu = 1 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ، الكتلة الحجمية للمائع تساوي $\rho = 1000 \text{ kg s}^{-1}$ ، والسرعة المتوسطة عند مدخل الأنبوب تساوي 0.05 m s^{-1} والضغط عند مخرج الأنبوب يساوي الضغط الجوي.

1-3- توزيع السرعة و الضغط داخل الأنبوب في حالة الجريان الرقائقي:

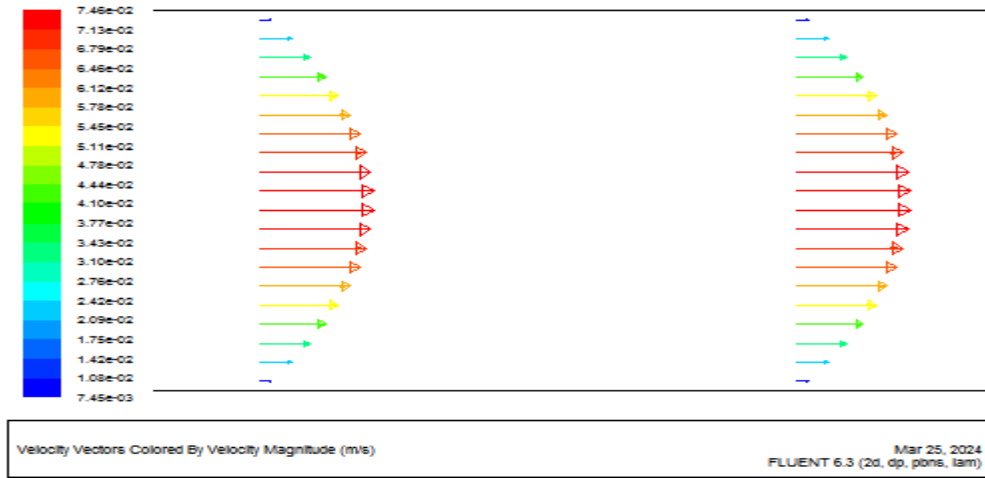


الشكل (1-4): توزيع السرعة داخل جزء من الأنبوب في حالة الجريان الرقائقي



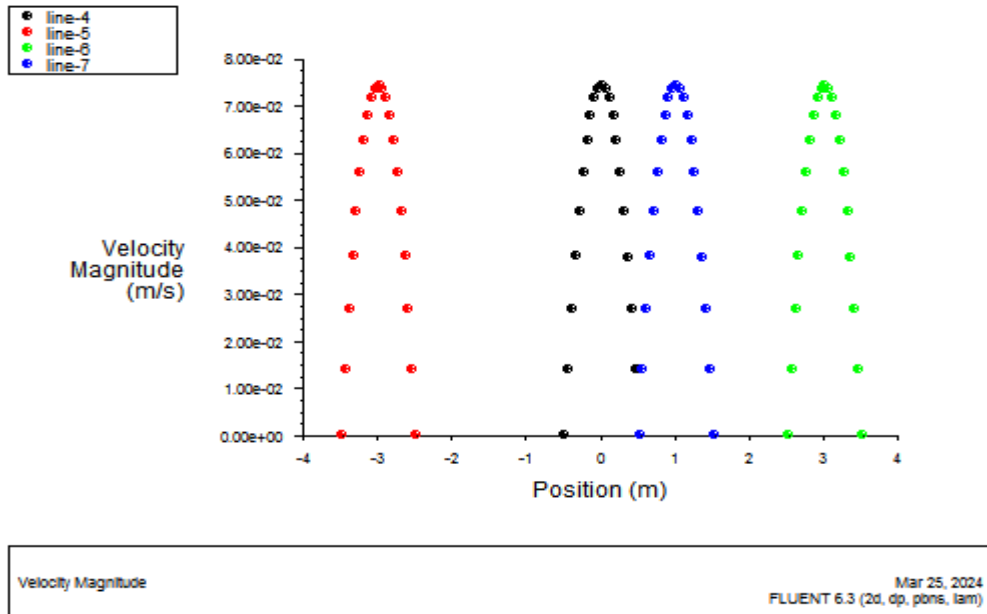
الشكل (2-4): توزيع الضغط داخل الأنبوب في حالة الجريان الرقائقي

2-3- توزيع منحنى السرعة داخل المقطع العرضي للأنبوب في حالة الجريان الرقائقي:



الشكل (3-4): توزيع منحنى السرعة داخل المقطع العرضي للأنبوب في حالة الجريان الرقائقي

3-3- تغير السرعة داخل المقطع العرضي للأنبوب من أجل مواضع مختلفة في حالة الجريان الرقائقي:

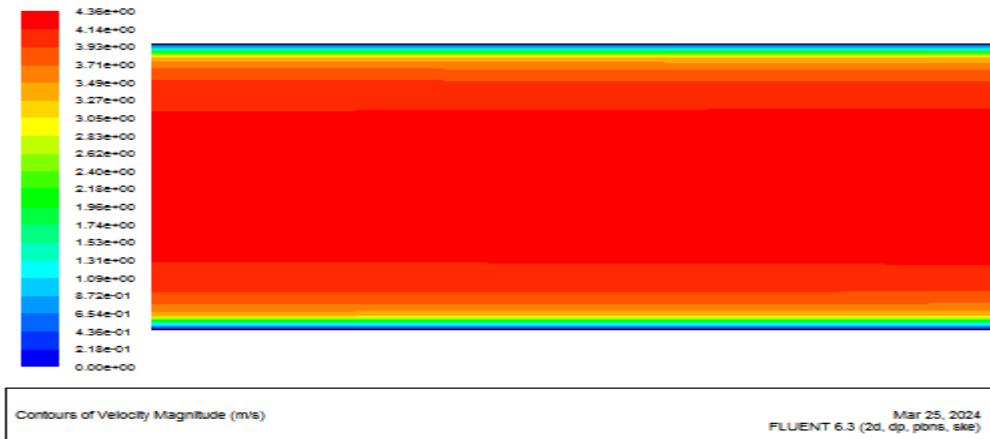


الشكل (4-4): تغير السرعة داخل المقطع العرضي للأنبوب من أجل مواضع مختلفة في حالة الجريان الرقائقي

4 - الجريان المضطرب داخل الأنابيب:

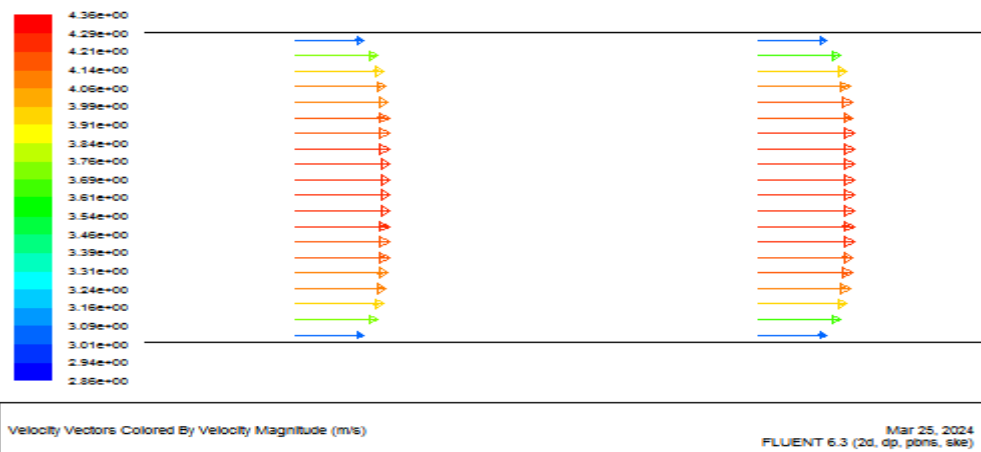
نعتبر أن قطر الأنبوب يساوي 1m، طول الأنبوب يساوي 20m، معامل اللزوجة الديناميكية للمائع يساوي هو $\mu = 0.3 \text{ kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$ ، الكتلة الحجمية للمائع تساوي $\rho = 1000 \text{ kg s}^{-1}$ ، و السرعة المتوسطة عند مدخل الأنبوب تساوي 4 m s^{-1} و الضغط عند مخرج الأنبوب يساوي الضغط الجوي.

1-4- توزيع السرعة داخل الأنبوب في حالة الجريان المضطرب:



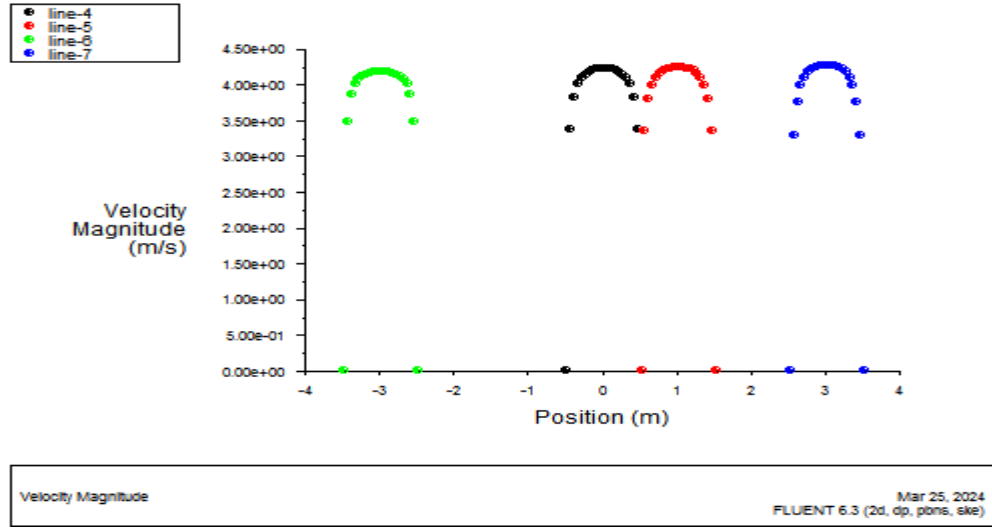
الشكل (4-5): توزيع السرعة داخل جزء من الأنبوب في حالة الجريان المضطرب

2-4- توزيع منحنى السرعة داخل المقطع العرضي للأنبوب في حالة الجريان المضطرب:



الشكل (4-6): توزيع منحنى السرعة داخل المقطع العرضي للأنبوب في حالة الجريان المضطرب

3-4- تغير السرعة داخل المقطع العرضي للأنبوب من أجل مواضع مختلفة في حالة الجريان المضطرب :

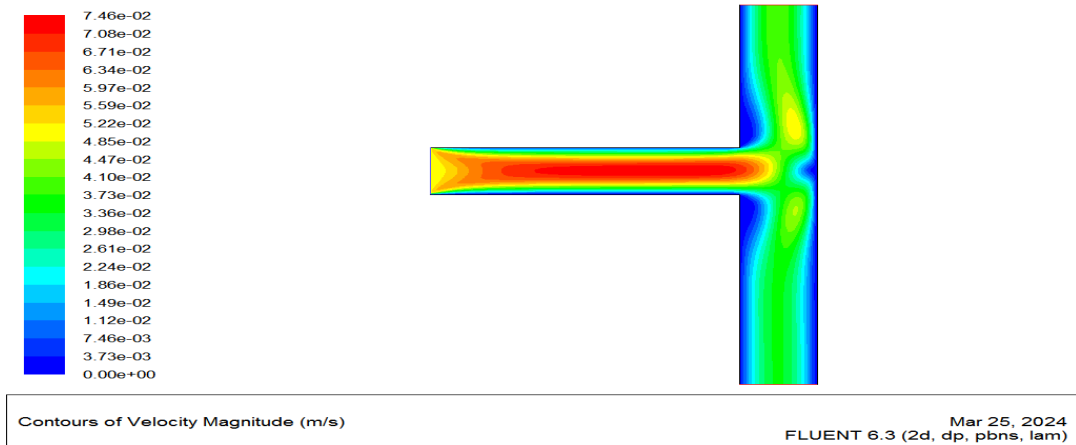


الشكل (4-7): تغير السرعة داخل المقطع العرضي للأنبوب من أجل مواضع مختلفة في حالة الجريان المضطرب

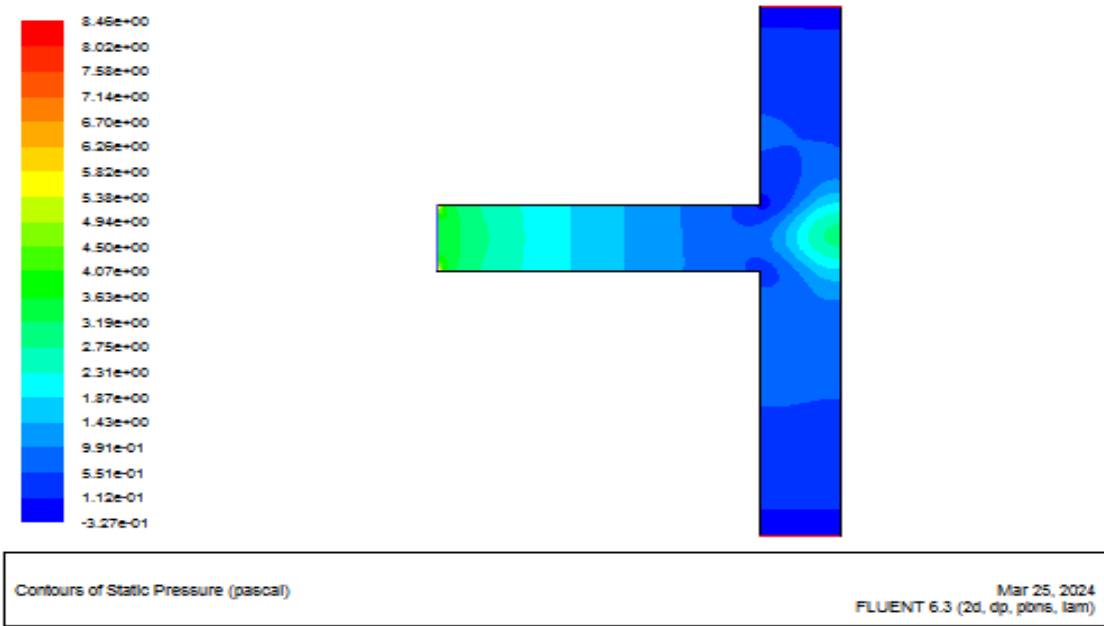
5- الجريان داخل وصلات مختلفة:

نعتبر أن معامل اللزوجة الديناميكية للمائع يساوي هو $\mu = 1 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ و الكتلة الحجمية للمائع تساوي $\rho = 1000 \text{ kg s}^{-1}$ و السرعة المتوسطة عند مدخل الوصلة تساوي 0.05 m s^{-1} و الضغط عند مخرج الوصلة يساوي الضغط الجوي ، وهذا في دراسة جميع الوصلات الأنبوبية.

5-1- توزيع السرعة و الضغط داخل وصلة على شكل حرف (T):

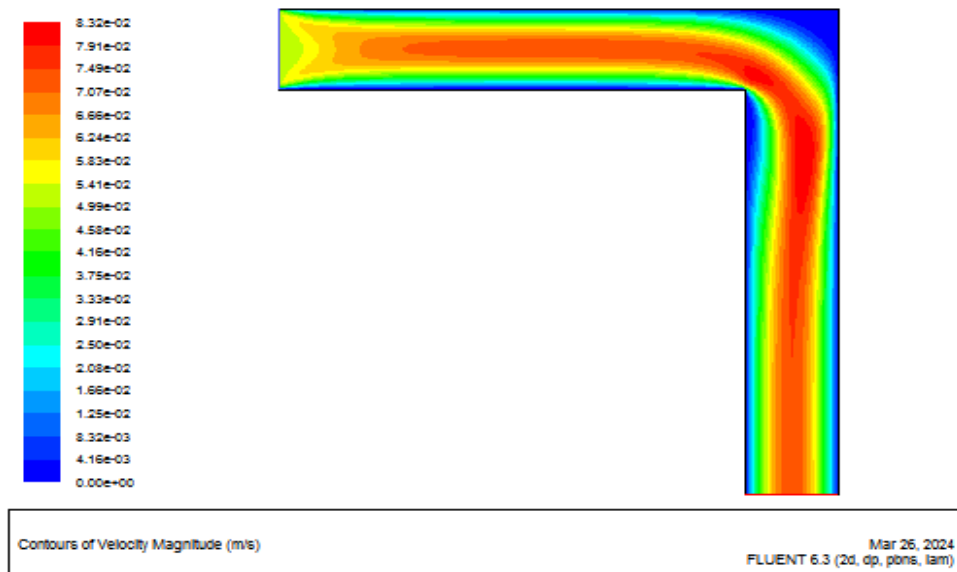


الشكل (4-8): توزيع السرعة داخل وصلة على شكل حرف (T)

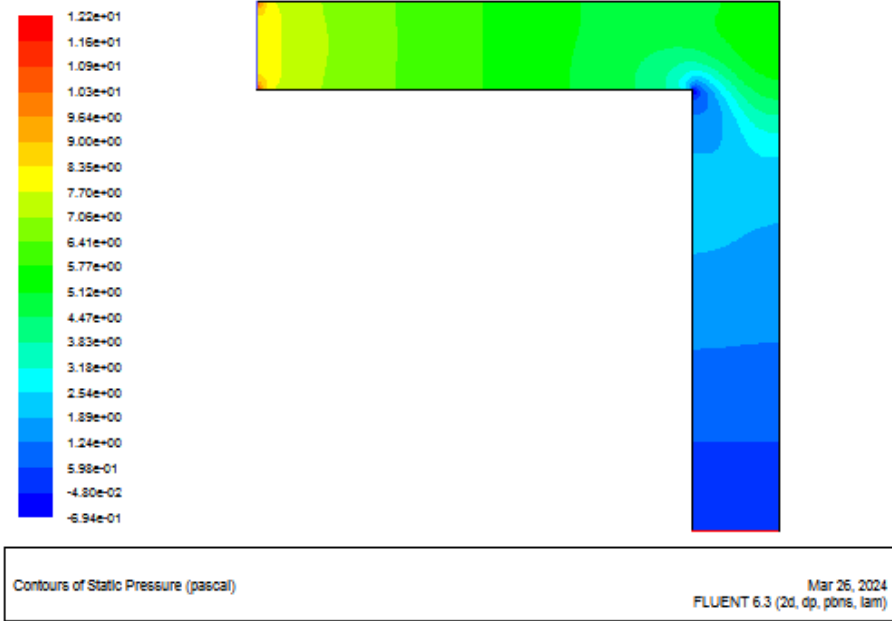


الشكل (9-4): توزيع الضغط داخل وصلة على شكل حرف (T)

2-5- توزيع السرعة و الضغط داخل وصلة على شكل كوع نصف قطر انحناءه يساوي الصفر:

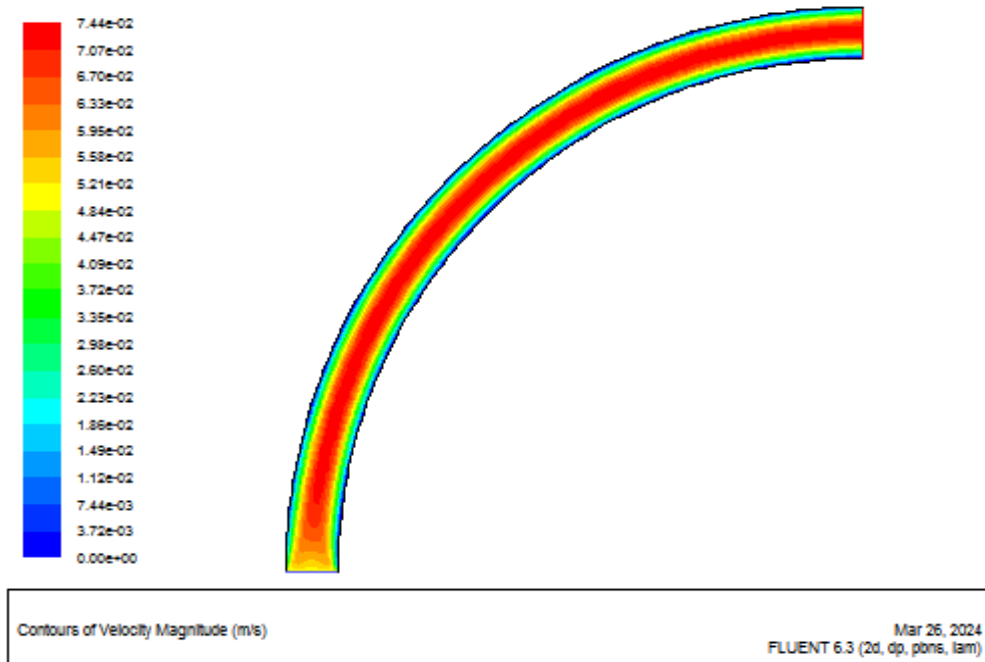


الشكل (10-4): توزيع السرعة داخل وصلة على شكل كوع نصف قطر انحناءه يساوي الصفر

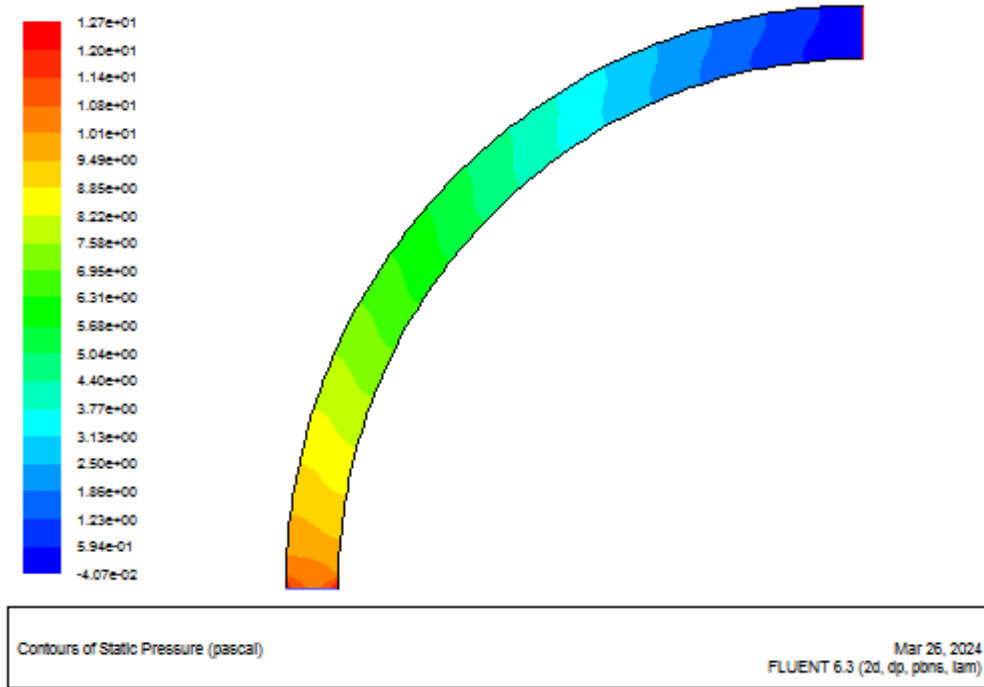


الشكل (4-11): توزيع الضغط داخل وصلة على شكل كوع نصف قطر انحناءه يساوي الصفر

5-3- توزيع السرعة و الضغط داخل وصلة على شكل كوع ذو نصف قطر انحناء طويل:

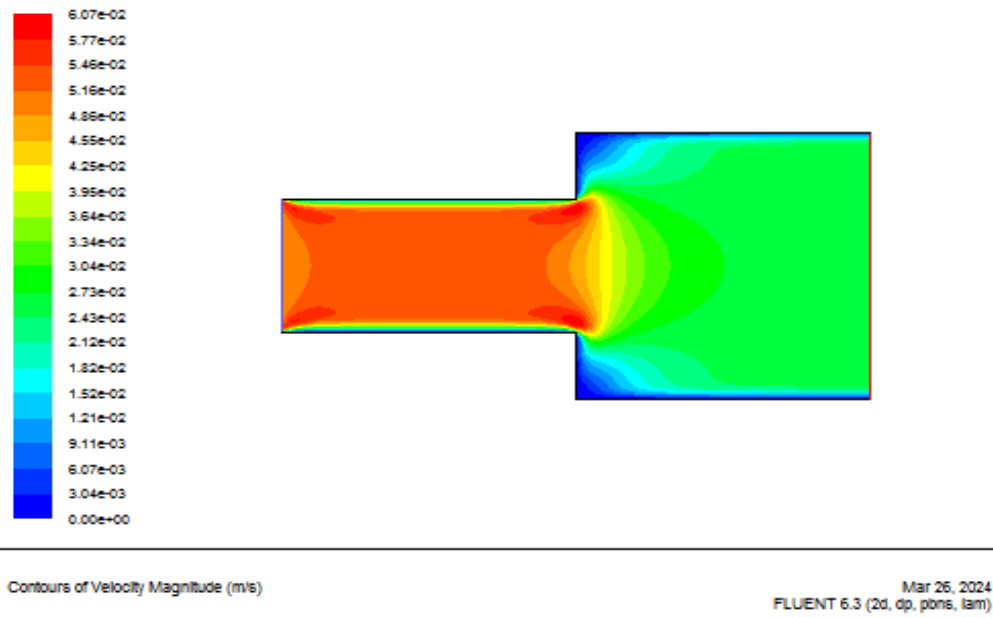


الشكل (4-12): توزيع السرعة داخل وصلة على شكل انحناء طويل

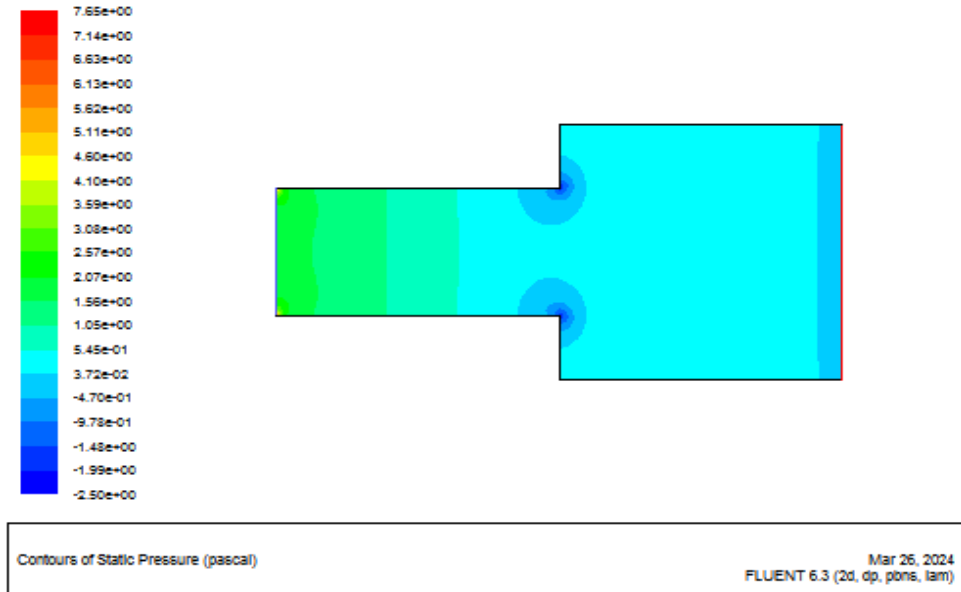


الشكل (4-13): توزيع الضغط داخل وصلة على شكل انحناء طويل

4-5- توزيع السرعة و الضغط داخل وصلة على شكل توسيع مفاجئ في مقطع الأنبوب:

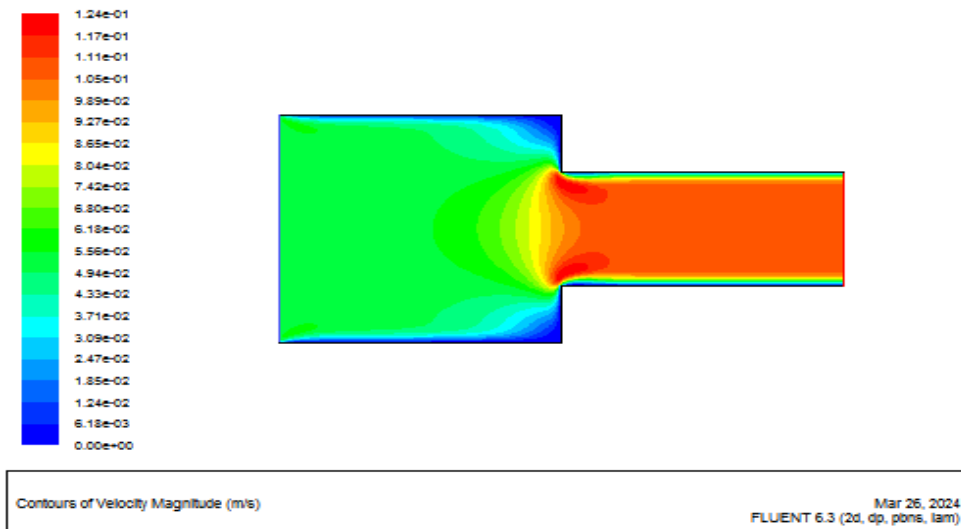


الشكل (4-14): توزيع السرعة داخل وصلة على شكل توسيع مفاجئ في مقطع الأنبوب

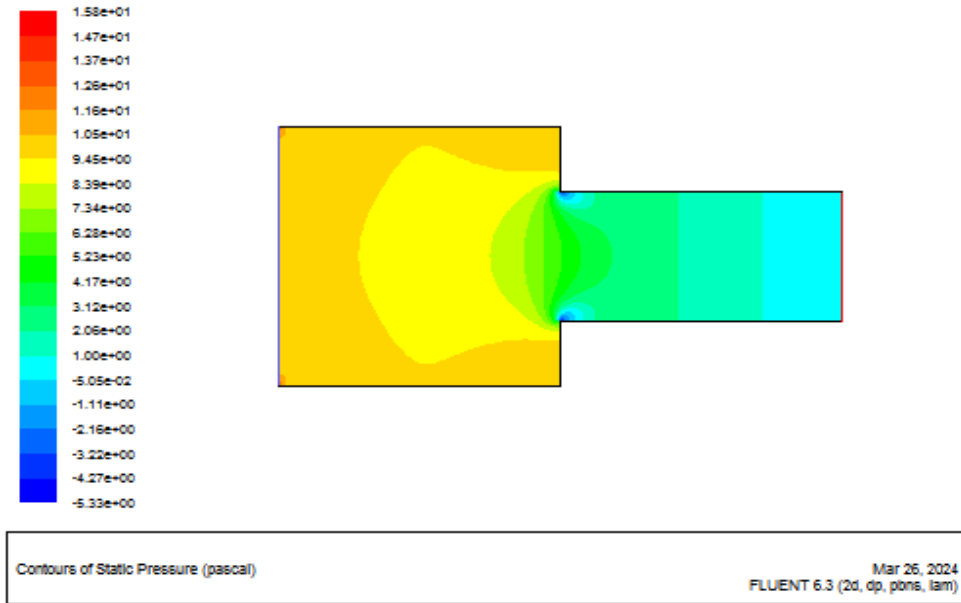


الشكل (4-15): توزيع الضغط داخل وصلة على شكل توسيع مفاجئ في مقطع الأنبوب

5-5- توزيع السرعة و الضغط داخل وصلة على شكل تقلص مفاجئ في مقطع الأنبوب:



الشكل (4-16): توزيع السرعة داخل وصلة على شكل تقلص مفاجئ في مقطع الأنبوب



الشكل (4-17): توزيع الضغط داخل وصلة على شكل تقلص مفاجئ في مقطع الأنبوب

6- مناقشة النتائج:

من خلال النتائج العددية أعلاه نلاحظ :

- من الشكل (4 - 1) إلى الشكل (4 - 4) هذه الأشكال الأربعة التي تعبر عن تغير كل من السرعة والضغط على طول أنبوب أملس في حالة جريان رقائقى إذ نلاحظ أن الطبقة الملامسة للجدار تبلغ سرعتها صفر (لا حركة)، تليها طبقة مائع ذات سرعة صغيرة وتتلوها طبقة ثالثة أسرع من سابقتها، وهكذا اذن فسريان المائع على طول الأنبوب تكون فيه طبقة المائع الملامسة للسطح الداخلي للأنبوب ثابتة ومستقرة وتزداد سرعة طبقات المائع في اتجاه منتصف الأنبوب (محور الأنبوب الإسطواني)، في حين نلاحظ تناقص قيمة الضغط من مدخل الأنبوب إلى غاية مخرج الأنبوب أين الضغط الفعال يساوي الصفر.
- من الشكل (4 - 5) إلى الشكل (4 - 7) هذه الأشكال تعبر عن تغير سرعة المائع داخل الأنبوب في حالة الجريان المضطرب إذ نلاحظ سرعات كبيرة وغير متساوية للمائع على عرض مقطع الأنبوب.
- في الشكلين (4 - 8) و(4 - 9) اللذان يعبران عن توزيع السرعة والضغط داخل وصلة على شكل حرف (T) نلاحظ أن أكبر قيمة للسرعة في وسط مقطع الأنبوب وعند وصول المائع إلى مفترق الوصلة يصطدم بالجدار الداخلي

- للأنبوب وعندها تتوزع السرعة في الإتجاهين بينما يزداد الضغط في فرعي الوصلة فيتسبب في فقدان للطاقة.
- في الشكلين (4 - 10) و(4 - 11) يوضحان توزيع السرعة والضغط داخل وصلة على شكل كوع بنصف قطر انحناء يساوي الصفر إذ نلاحظ تغير في السرعة من مدخل الأنبوب إلى مخرجه لتصل أكبر قيمة لها عند الإنحناء في حين نلاحظ تناقص الضغط تدريجيا إلى غاية مخرج الأنبوب.
 - في الشكلين (4 - 12) و(4 - 13) يوضحان توزيع السرعة والضغط داخل وصلة على شكل إنحناء طويل وهو قريب جدا من توزيع السرعة والضغط داخل أنبوب أفقي مستقيم مما يعني أن الإنحناء الطويل هو من الوصلات التي يكون فيها الضياع في الطاقة أقل ما يمكن مقارنة بالوصلات الأخرى.
 - في الشكلين (4 - 14) و(4 - 15) فهما يوضحان تغير السرعة والضغط داخل وصلة على شكل توسيع مفاجئ إذ نلاحظ تناقص سرعة المائع فور وصوله للتوسع مما يتسبب في زيادة الضغط فالتوسع يؤدي إلى انفصال المائع عن جدار الأنبوب مما يشجع على حدوث دوامات.
 - في الشكلين (4 - 16) و(4 - 17) فهما يوضحان تغير السرعة والضغط داخل وصلة على شكل تقلص مفاجئ فنلاحظ تزايد مفاجئ في السرعة بسبب تغير في قطر الأنبوب (ينقص القطر تزيد السرعة) أما الضغط فيتناقص تدريجيا.

7- خلاصة دراسة المحاكاة العددية:

من خلال هذه الدراسة العددية لجريان الموائع في الأنابيب تمكنا من تقديم النتائج المختلفة التي تم الحصول عليها من أجل تكوينات هندسية متمثلة في أنابيب ووصلات أنبوبية مختلفة لدراسة تغير كل من السرعة والضغط في نظام رينولدز الرقائقي والمضطرب، ويمكن تلخيص أهم النتائج المستخلصة في هذا العمل وهي أن المحاكاة العددية أكدت لنا الدراسة التجريبية والنظرية بحيث نجد أن الإنحناء الطويل هو أقل ضياع في الطاقة لأن توزيع السرعة والضغط فيه كأنبوب أفقي، كذلك الوصلة على شكل حرف (T) والوصلة على شكل كوع بنصف قطر إنحناء يساوي الصفر (المتري) يتسبب في ضياعات كبيرة في الطاقة مقارنة بالوصلات الأخرى.

بعد هذه الدراسة العددية نجد بأنه يمكننا اعتماد المحاكاة العددية كدراسة أولية لمشروع تصميم شبكات هيدروليكية وهذا من أجل تحقيق كفاءة أفضل في وقت وجيز.

- [1] المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني. أساسيات الحرارية و الموائع، المملكة العربية السعودية. طبعة 2008.
- [2] محمود أحمد عمري. 2013. "أساسيات في علم الموائع" مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع. الطبعة الأولى 2014م.
- [3] Carrillo, V ;et al. 2018. "Experimental and numerical simulation as a calibration measure of ventur tube".International journal of hydrology 22.
- [4] Kumar, S; et al. 2022. "Simulations of water flow in a horizontal and 90° pipe bend ". Masterials today, proceedings 56 : 889-895.
- [5] Walter, G.A. 1992. "A review of pipe network optimization techniques". Pipline systemes: 3-13.
- [6] Mohammed Abdalwahhab et al., Numerical prediction of pressure loss of fluid in a T-junction, International journal of energy and environment Volume 4, Issue 2, 2013 pp.253-264.
- [7] Chouchane.N. Etude globale et locale de l'influence de la géométrie sur les pertes de charge occasionnées par des obstacles métalliques de formes diverses dans un conduit rectangulaire, cas d'un fluide incompressible. Thèse de doctorat. Université de Biskra, Algérie (2012).
- [8] Maamar.S. Modelisation et simulation d'un écoulement dans une conduite à travers une jonction. Mémoire de Magister, Université Aboubakr Belkaid - Tlemcen, Algérie (2016).
- [9] T. Touiri et M. Chetioui, Etude de l'effet de la géométrie sur les pertes de charge. Mémoire d'ingénieur d'état. Université de Biskra (2008).
- [10] شهيناز أ، فاطمة أ. 2014. خصائص الموائع. مذكرة ليسانس جامعة الشهيد حمة لخضر- الوادي.
- [11] عصام عبدالماجد أحمد وآخرون، الموائع، الدار السودانية للكتب، الخرطوم، السودان الطبعة الثانية منتصف 2001م.
- [12] الهادي إ. ر. 1995. أساسيات ميكانيكا الموائع- الجزء الأول- قسم الهندسة الميكانيكية و الصناعية كلية الهندسة جامعة الفاتح ليبيا.

قائمة المراجع

- [13] اللبي عبد القادر. 2018. دروس في ميكانيك الموائع. النسخة الأولى، جامعة الشهيد حمة لخضر- الوادي.
- [14] محمّد ت. أ. 2018. ميكانيك الموائع. الطبعة الثانية.
- [15] أصيل نجيب ش، آخرون. 2020. تحديد فواقد الإحتكاك في الأنابيب. جامعة صنعاء- اليمن.
- [16] <https://chemistrysources.com/surfacetension>. 27 avril 2024.
- [17] مخبر ميكانيكا الموائع. 20 مارس 2024. جامعة الشهيد حمة لخضر- الوادي.
- [18] ثريا. س، رحمة. ع. دراسة تجريبية ونظرية للضياح في الطاقة لمختلف وصلات الأنبوبية في الشبكات. 2023. جامعة قاصدي مرباح - ورقلة.
- [19] <https://uta.pressbooks.pub/appliedfluidmechanics/chapter/experiment-3>. 22 janvier 2024.
- [20] <https://uta.pressbooks.pub/appliedfluidmechanics/chapter/experiment-4>. 22 janvier 2024.
- [21] بوطيبة. ب، سيّلاب. د. دراسة التدفق في أنبوب ذو جدار مموج. 2019. جامعة عبد الحميد بن باديس-مستغانم.

الخاتمة

في ختام هذا البحث الذي تم فيه دراسة نظرية وتجريبية لفقدان الطاقة في الأنابيب وبعض لواحقها والتحقق من ذلك بدراسة لمحاكاة عددية توضح تغير السرعة والضغط داخل الأنابيب ووصلاتها في كل من الجريان الرقائقي والمضطرب، وهذا من أجل معرفة ما مدى تطابق النتائج النظرية والتجارب المخبرية والعددية في علم ميكانيكا الموائع.

لنتوصل بعد هذه الدراسة إلى أن مرور الموائع (الماء) في شبكات التغذية عبر الأنابيب بوجود عدد من الوصلات الأنبوبية يتسبب في ضياع كبير للطاقة مهما كان نوع الوصلة، فكلما كان نصف قطر تقويس الانحناء كبير للأنبوب كان الضياع في الطاقة قليل، حيث وجدنا هذا في الدراسة التجريبية إذ أن فقدان الشحنة في الانحناء الطويل عند تدفق $0.00012 \text{ (m}^3/\text{s)}$ هو 2 (mm) بينما في نفس كمية التدفق يصل الفقدان في الشحنة إلى خمسة أضعاف أي 10 (mm) في الانحناء القصير، ويصل إلى عشرة أضعاف وأكثر في الأكواع وهذا ما أكدت الدراسة العددية كذلك. كما أن التغير المفاجئ في مقطع الأنبوب يتسبب في فقدان للشحنة لأن التغير في قطر الأنبوب يؤدي إلى تغير سرعة المائع مما يتسبب في انفصال المائع عن جدار الأنبوب ومن ثم حدوث دوامات وزيادة في الضغط خاصة في التوسع المفاجئ. كذلك نجد أن ضياع الطاقة بسبب الإحتكاك داخل الأنابيب أكبر بكثير مقارنة بالضياع في الطاقة الذي تسببه الوصلات الأنبوبية حيث أكبر قيمة لضياع الطاقة في الوصلات المدروسة هي في الكوع ذو زاوية حادة يصل إلى 58 (mm) بينما الضياع في الطاقة بسبب الإحتكاك يصل إلى 389 (mm) ، لذا علينا بوضع دراسة مسبقة لشبكات التغذية قبل توصيلها والوصول إلى نموذج أقل ضياع في الطاقة.

ومع تقدم التكنولوجيا يمكننا إعتداد المحاكاة العددية لحل المعادلات الأساسية في ميكانيكا الموائع وتفسير ما عجزت عليه التجارب المخبرية التي نواجه فيها صعوبات في ضبط القراءات على الأجهزة بشكل دقيق مما يدعونا إلى تكرارها عدة مرات للوصول إلى نتائج بأقل أخطاء، ولهذا علينا بتعزيز النتائج التجريبية بمحاكاة عددية في بحوثنا العلمية للوصول إلى نتائج أدق في وقت وجيز.

وفي النهاية نأمل أننا قد وفقنا في هذا البحث وأفدنا طالبي العلم لما توصلنا إليه.

المخلص

أصبح التطرق لضياع الطاقة والحفاظ عليها في الشبكات أمر ضروري لضبط التزويد بهذه الموائع، ومن هذا المنطلق تم دراسة الضياع في الطاقة في الأنابيب وفي مختلف الوصلات الأنبوبية في شبكات التوصيل. حيث هذه الدراسة اهتمت بالتحقق تجريبيا وعدديا من الدراسات النظرية لفقدان الطاقة في الأنابيب وبعض لواحقها. وقد تم الإعتماد على تجربتين ومحاكاة عددية تدرس تغير السرعة والضغط في الأنابيب ووصلاتها باستعمال برنامج fluent. وأظهرت النتائج المتحصل عليها أن شكل الوصلة الأنبوبية له تأثير مباشر على كمية الضياع في الطاقة، حيث كان الإنحناء الطويل هو أفضل الوصلات لأنه أقل ضياع للطاقة وأن هناك توافق إلى حد كبير عند مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها عن طريق التجريب والمحاكاة.

الكلمات المفتاحية: جريان الموائع، الضياع في الطاقة، محاكاة، أنبوب، وصلات أنبوبية.

Summary:

Addressing energy loss and conserving it in networks has become essential for managing the supply of these fluids. In this context, a study was conducted on energy loss in pipelines and various pipe connections in delivery networks. The study focused on experimental and numerical verification of theoretical studies on energy loss in pipes and their fittings. Two experiments and numerical simulations were conducted to study velocity and pressure changes in pipes and their connections using Fluent software. The results obtained showed that the shape of the pipe connection directly affects the amount of energy loss, with longer bends proving to be the most energy-efficient connections. In addition, there was significant agreement between experimental and simulated results.

key words: Fluid flow, Energy loss, Simulation, Pipeline, Pipe fittings