Computational Study of Heat exchanger

دراسة محوسبة لمبادل حراري

بحث تكميلي لنيل درجة البكلاريوس مرتبة الشرف في

الهندسة الميكانيكية

إعـــداد:

عز الدين هاشم إبراهيم

معتز عبد المنعم إبراهيم

مـــوسى الشاذلي الجعلي

كلية الهندسة

جامعة الشيخ عبد الله البدري

يناير 2023م

الاستهلال

بسم الله الرحمن الرحيم

قال الله تعالى:

﴿يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ﴾

صدق الله العظيم

سورة المجادلة الآية (11)

الإهـــــــداء

إلهي لا تطيب اللحظات إلا بذكراك .. ولا تطيب الأخرة إلا بعفوك
ولا تطيب الجنة إلا برؤيتك
الله جل جلاله

إلى من بلغ الرسالة .. وأدى الأمانة ونصح الأمة
الى نبي الرحمة ونور العالمين
سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم

إلى ملاكي في الحياة .. إلى معنى الحب والحنان والتفاني
الى بسمة الحياة وسر الوجود .. إلى من كان دعائها سر نجاحي
وحنانها بلسم جراحي .. إلى أغلى الحبايب
أمي الحبيبة

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار .. إلى من علمني العطاء دون انتظار
الى من أحمل اسمه بكل افتخار .. وستبقى كلماتك نجوم
اهتدي بها اليوم وفي الغد والى الأبد
والدي العزيز

إلى العقول النيرة والقلوب الحنونة
إلى من شاطروني أفراحي واتراحي وأعانوني
بقلوبهم وعقولهم سندي وعضدي
أخواني وأخواتي

إلى من علمونا حروفاً من ذهب وكلمات من درر
وعبارات من أسمى وأجل عبارات العلم
إلى من صاغوا لنا علمهم حروفاً وفكرهم
منارة تنير لنا مسيرة العلم والنجاح
إلى اساتذتي الكرام

إلى من سرنا سوياً ونحن نشق الطريق معاً نحو النجاح والإبداع
إلى زملائي وزميلاتي

الشكر والتقدير

الشكر أولاً لله العلي القدير الذي وفقنا لإتمام هذا البحث الذي نتمنى أن يكون إضافة جديدة في هذا المجال.

والشكر مقدم إلى الشموع التي تحترق من أجل إنارة الطريق لنا ومن أجل رفعتنا ألا وهم أساتذتنا في قسم الهندسة الميكانيكية فلكم منا كل الحب والإحترام والتقدير ونتمنى أن ينفع الله بكم عباده وأن تتحقق أمنياتكم جميعاً.

ونخص بالشكر والتقدير

د. عوض الله أحمد محمد عثمان

الذي لم يألوا جهداً في مساعدتنا في هذا البحث والذي رعاه وجمّله بملاحظاته القيمة والمفيدة حتى خرج بهذه الصورة.

فهنيئاً لك قول رسول الله صلي الله عليه وسلم :(إن الله وملائكته وأهل السموات والأرض حتي النملة في جحرها وحتى الحوت ليصلون علي معلم الناس الخيّر) رواه الترمذي.

كما نتوجه بالشكر إلى أُسرنا التي جاهدت وتكبدت المشاق في سبيل وصولنا لما بلغنا، نشكرهم جميعاً ونتمنى من الله عز وجل أن يجعل ذلك في موازين حسناتهم.

فهرس الموضوعات

الرقم	المحتوى	الصفحة
	الاستهلال	I
	الإهداء	II
	الشكر والتقدير	III
	فهرس المحتويات	IV
	فهرس الأشكال	VI
	فهرس الجداول	VII
	المستخلص	VIII
	Abstract	IX
الفصل الأول : المبادلات الحرارية		
1-1	أنواع المبادلات الحرارية	1
1-1-1	المبادل الحراري الأنبوبي أو المبادل الحراري ذو الأنبوب متحد المركز	1
2-1-1	المبادل الحراري المدمج	2
3-1-1	المبادل الحراري ذو الغلاف والأنبوب	3
4-1-1	المبادل الحراري اللوحي	5
2-1	اعتبارات عامة لتصميم ورعاية واختيار المبادل الحراري	5
الفصل الثاني : تقنية ديناميكا الموائع المحوسبة		
1-2	تمهيد	7
2-2	لمحة تاريخية	7
3-2	الطرق العددية	9
1-3-2	طريقة الحجوم المحددة	9
2-3-2	طريقة الفروق المحددة	9
3-3-2	طريقة العناصر المحددة	10
4-2	مبدأ العناصر المحددة والخطوات الرئيسية	11
5-2	أهم التطبيقات الحالية لطريقة العناصر المنتهية	11
1-5-2	منشأة الهندسة المدنية	11
2-5-2	الصناعات الجوية	12
3-5-2	هندسة الجيوتكنيك	12

6-2	الآفاق المستقبلي المتوقعة للطريقة	14
7-2	أسلوب ديناميكا الموائع المحوسبة	14
1-7-2	مقدمة	14
2-7-2	لمحة تاريخية	15
3-7-2	أسباب تطور علم ديناميكا الموائع المحوسبة	16
4-7-2	المنهجية المتبعة في ديناميكا الموائع المحوسبة	17
5-7-2	مقارنة بين أسلوب ديناميكا الموائع المحوسبة والتجارب المعملية	18
6-7-2	أهداف أسلوب (CFD)	19
7-7-2	تطبيقات أسلوب ديناميكا الموقع المحوسبة	19
الفصل الثالث : التحليل باستخدام برنامج (ANSYS fluent)		
1-3	مقدمة	20
2-3	أهم التطبيقات الهندسية التي يتعامل معها برنامج	21
3-3	مراحل النمذجة بالبرنامج	22
1-3-3	المرحلة الأولى: تصميم النموذج	22
2-3-3	المرحلة الثانية: تقسيم النموذج	22
3-3-3	المرحلة الثالثة: مرحلة (setup)	23
4-3-3	المرحلة الرابعة: مرحلة الحل	27
5-3-3	المرحلة الخامسة: نتائج الحل	28
الفصل الرابع : النمذجة والمحاكاة وتحليل النتائج		
	النمذجة والمحاكاة وتحليل النتائج	30
الفصل الخامس : الخلاصة والتوصيات		
1-5	الخلاصة	44
2-5	التوصيات	44
	المصادر والمراجع	45

فهرس الأشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
1-1	مبادل حراري أنبوبي متوازي السريان	1
2-1	مبادل أنبوبي عكسي السريان	2
3-1	مبادل حراري مدمج (مختلط – غير مختلط) و(غير مختلط)	3
4-1	مبادل حراري ذو غلاف وأنبوب	4
5-1	مبادل حراري ذو غلاف وأنبوب–غلاف ممر واحد وأنابيب ذات ممرين	4
6-1	مبادل حراري ذو غلاف وأنبوب–غلاف ممرين وأنابيب أربعة ممرات	5
1-2	الحجم التحكمي في (FVM)	9
2-2	التقسيم والانتقال (FDM)	9
3-2	تقسيم كرة بطريقة العناصر المحددة	10
4-2	بعض أشكال العناصر المنتهية المستوية والفراغية	11
5-2	تشبيكات MESH عناصر منتهية خاصة بتحليل أحد نماذج الطائرات الحربية	12
6-2	الإجهادات الهوائية المتشكلة على المكوك وانفصال صواريخ الدفع عن المكوك المدروس الفضائي خلال مرحلة الانطلاق	13
7-2	محاكاة لمراحل تطور الحالة الاجهادية لهيكل أحد أنواع السيارات في أثناء تصادم أمامي افتراضي للنموذج المطور بوساطة طريقة العناصر المنتهية	13
1-3	تصميم النموذج	22
2-3	النموذج بعد عملية التقسيم	23
3-3	الضبط العام (general)	24
4-3	اختبار معادلة (viscous Equation) ونموذج (k-epsilon)	24
5-3	إدخال خواص المائع المستخدم (الماء)	25
6-3	تغير نوع المادة الجارية في الإطار الخارجي (casing)	25
7-3	إدخال السرعة والضغط عند المدخل	26
8-3	إدخال الضغط عند المخرج	26
9-3	عدد مرات الحل (50)	27
10-3	الخطأ وعدد التكرارات	27
11-3	يبين عدد مرات الحل	28
12-3	عدد مرات الحل مع مقدار الخطأ	29

فهرس الجداول

رقم الجدول	عنوان الجدول	الصفحة
2-1	مقارنة بين أسلوب ديناميكا الموائع المحوسبة والتجارب المعملية	18
4-1	خواص الهواء عند الظروف الطبيعية	30

المستخلص:

الهدف من هذا البحث دراسة أداء مبادل حراري ذو زعانف وأنبوب باستخدام أسلوب ديناميكا الموائع المحوسبة (CFD) حيث يتم التحليل بواسطة برنامج (Ansys Fluent) حيث أجريت دراسة تحليليـــة لمعرفة التغير في درجة الحرارة والسرعة على المبادل الحراري.

Abstract:

The aim of this research is to study the performance of a finned and tube heat exchanger using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method, where the analysis is done by (Ansys Fluent) program, where an analytical study was conducted to find out the change in temperature and velocity on the heat exchanger.

الفصل الأول

المبادلات الحرارية

الفصل الأول

1- المبادلات الحرارية (Heat Exchangers)

تعرف المبادلات الحرارية بأنها تلك المعدات التي تبسط وتسهل عملية انتقال وتبادل الحرارة بين مائعين عند درجتي حرارة مختلفين مع الاحتفاظ بهذين المائعين غير مختلطين في أكثر أنواع شيوعاً.

تستخدم المبادلات الحرارية في كثير من التطبيقات في مجال التبريد وتكييف الهواء وفي التصنيع الكيميائي وفي محطات توليد الطاقة الكبيرة منها.

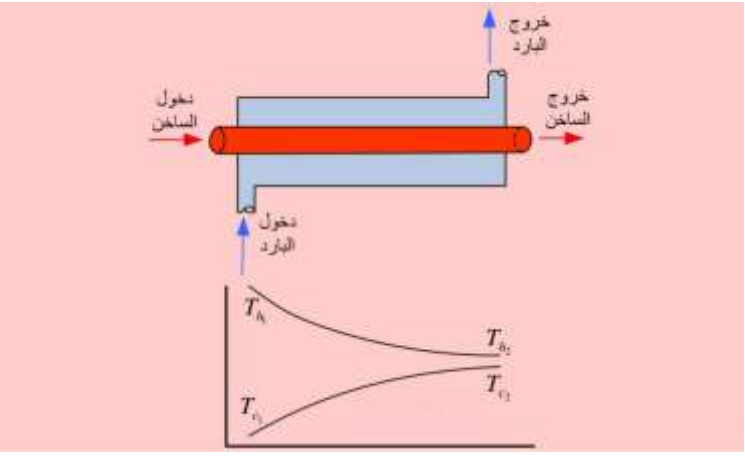
يتم انتقال الحرارة في المبادل الحراري بواسطة الحمل في المائع نفسه وبالتوصيل خلال الدار الفاصل بين المائعين.

1-1 أنواع المبادلات الحرارية (Types of Heat Exchangers):

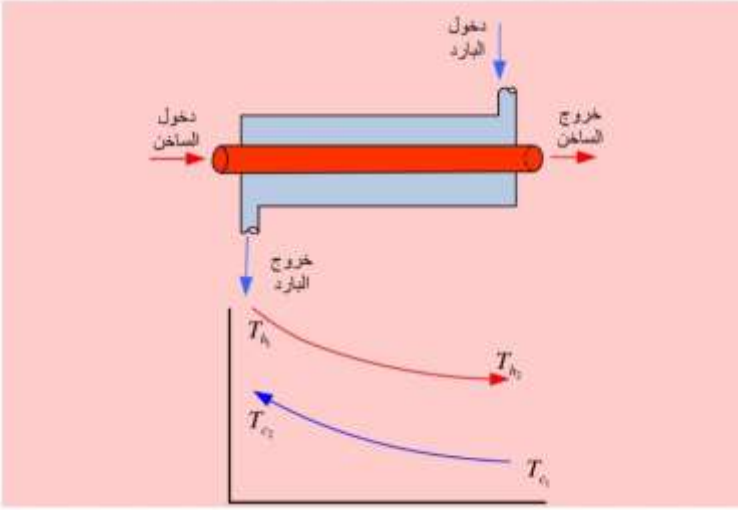
تتطلب تطبيقات انتقال الحرارة المختلفة لمواد مختلفة ولطرق تصنيع مختلفة أيضاً. ولذلك ولمطابقة متطلبات انتقال الحرارة في التطبيق المحدد مع مواد تصنيع المبادل الحراري تطلب ذلك تصنيع وتصميم المبادلات الحرارية بطرق كثيرة منها:

1-1-1 المبادل الحراري الأنبوبي أو المبادل الحراري ذو الأنبوب متحد المركز:

(Tubular or Concentric tube HXR)



الشكل (1-1) مبادل حراري أنبوبي متوازي السريان



الشكل (1–2) مبادل أنبوبي عكسي السريان

وكما يتضح من الشكلين (1–1) و(1–2) فإن هذا المبادل يتكون من أنبوبين بقطرين مختلفين ومركز متحد. يسري أحد المائعين في الأنبوب الصغير فيما يسري المائع الآخر في مساحة المتبقية بين الأنبوبين.

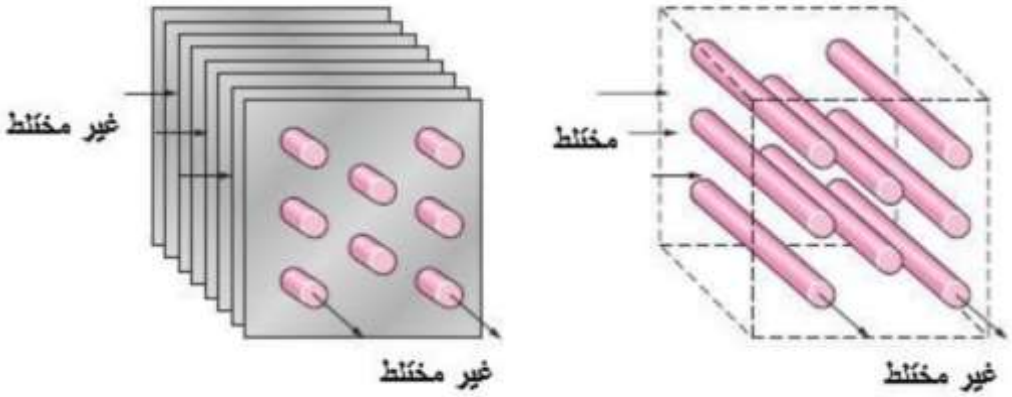
هنالك نوعان من السريان يمكن استخدامها في مثل هذا المبادل الحراري:

- مبادل حراري متوازي السريان (Parallel flow) وفيه يدخل المائعان الحار والبارد من نفس النهاية في المبادل ويسريان في نفس الاتجاه حتى النهاية الأخرى، الشكل (1–1).
- مبادل حراري عكسي السريان (Counter flow) وفيه يدخل المائعان الحار والبارج كل منهما في نهاية ويسريان في اتجاهين متعاكسين. الشكل (1–2).

1–1–2 المبادل الحراري المدمج (Complex HXR):

صمم هذا المبادل لتحقيق مساحة انتقال حرارة عالية في وحدة الحجم تسمى النسبة بين مساحة انتقال الحرارة للمبادل الحراري إلى حجم المبادل بكثافة المساحة (area density)، يسمى المبادل الحراري بمبادل حراري مدمج إذا كانت كثافة المساحة أكبر من ($700m^2/m^3$)، ومن أمثلة هذا المبادل الحراري المكثفات والمبخرات في أنظمة التكييف والتبريد ورادياتر السيارة ورئة الانسان، تمكننا هذه

نستطيع الحصول على المساحة العالية لانتقال الحرارة في مثل هذه المبـــادلات باســـتخدام الصـــفائح الرقيقة أو زعانف مموجة (corrugated fins) في الحوائط الفاصلة بين المائعين.

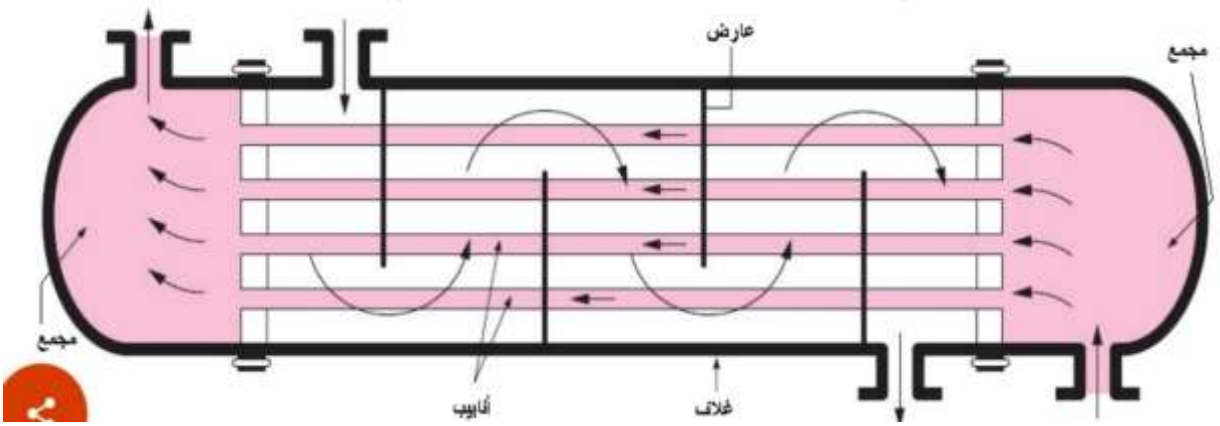


شكل (1–3) مبادل حراري مدمج (مختلط – غير مختلط) و(غير مختلط)

في المبادلات الحرارية المدمجة يسري المائعان في اتجاهين متعامدين (perpendicular) ويسمى هذا انوع من السريان بالسريان المتعارض (cross flow). ويقسم السريان المتعارض إلى سريان مختلط وسريان متعارض غير مختلط الشكل (1–3) اعتماداً على شكل السريان.

1–1–3 المبادل الحراري ذو الغلاف والأنبوب (Shell and tube HXR):

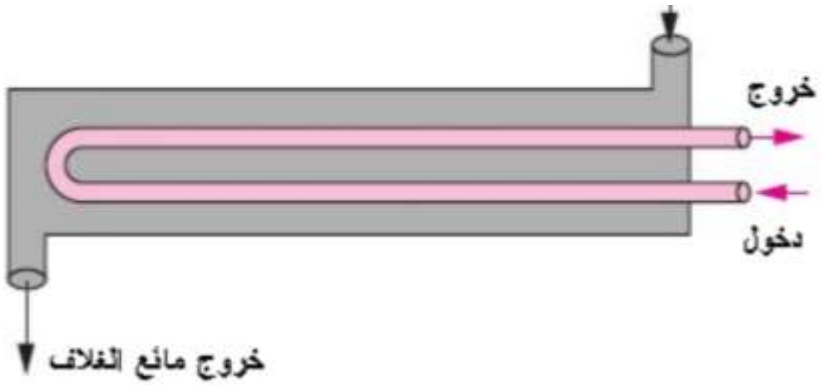
يعتبر هذا النوع من المبادلات الحرارية من أشهر المبـــادلات الحراريـــة المســـتخدمة ي التطبيقـــات الهندسية. يحتوي هذا النوع من المبادلات الحرارية على عدد كبي من الأنابيب (في بعض الأحيان عدة مئات) محشوة في غلاف على أن تكون محاورها متوازية مع محور الغلافي. تنتقل الحرارة بين المائع الذي يسري داخل المواسير والمائع الذي يسري خارج الغلاف الشكل (1–4). غالبـــاً مـــا تســـتخدم عوارض (baffles) في الغلاف لإجبار المائع الذي يسري خلال الغلاف مما يسرع من عملية انتقال الحرارة والاحتفاظ بحيز متساويو بين المواسير. بالرغم من اتساع استخدام هذه المبادلات فإنها غيـــر مناسبة الاستخدام في السيارات والطائرات وذلك لضخامة حجم ووزن هذه المبادلات.



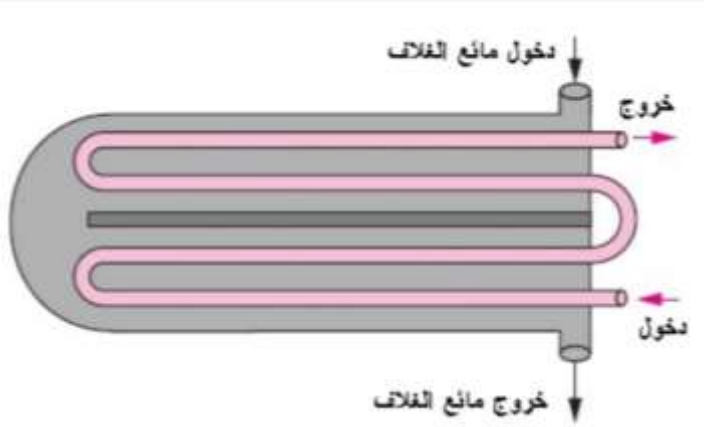
شكل (1–4) مبادل حراري ذو غلاف وأنبوب

يجب ملاحظة أن الأنابيب في مثل هذه المبادلات تكون مفتوحة لمساحات سريان كبيرة تسمى مجمعات (headers) توجد في نهايات الغلاف حيث يتجمع مائع الأنابيب قبل دخول الأنابيب وبعد الخروج منها.

تصنف هذه المبادلات على أساس عدد الممرات في الغلاف والأنبوب. ففي حالة أن الأنابيب تدخل من ناحية في الغلاف وتخرج من نفس الناحية (U-turn) يسمى المبادل مبادلاً حرارياً ذا غلاف ممر واحد وأنابيب ذات ممرين (one-shell pass and two passes) الشكل (1–4) وبالمثل يمكن تسمية المبادل الذي ه ممران في الغلاف وأربعة ممرات للأنابيب الشكل (1–5) بالمبادل الحراري ذ الغلاف ممرين وأنابيب أربعة ممرات (two-shell passes and four-tube passes).



شكل (1–5) مبادل حراري ذو غلاف وأنبوب – غلاف ممر واحد وأنابيب ذات ممرين



شكل (1–6) مبادل حراري ذو غلاف وأنبوب–غلاف ممرين وأنابيب أربعة ممرات

1–1–4 المبادل الحراري اللوحى (Plate HXR):

وهو من المبادلات الحرارية التي وجدت استخدامات عدة في الآونة الأخيرة. ويتكون هذا المبادل من مجموعة ألواح تكون ذات سريان مموج ومسطح. المائع البارد والمائع الساخن يسريان في ممرات تبادلية بحيث إن أي تيار من المائع البارد يكون محاطاً بتيارين من المائع الحار مما يؤدي لانتقال وتبادل حراري فعال. غالباً ما يستخدم هذا المبادل في التطبيقات التي يتم التبادل الحراري فيها بين سائلين.

1–2 اعتبارات عامة لتصميم ورعاية واختيار المبادل الحراري:

كثير من الصناعات التي تحتاج إلى مبادلات حرارية يمكن أن يختار المبادل الحراري من أي رف (off-the-shelf) أو يصمم المبادل الحراري حسب المعطيات، ومهما كان المبادل الحراري مصمماً وتصميم المبادل الحراري وتلك الاعتبارات هي:

1. متطلبات انتقال الحرارة (heat transfer requirements).
2. التكاليف (cost).
3. الحجم (physical size).
4. خواص هبوط الضغط (pressure drop characteristics).

إن متطلبات انتقال الحرارة لابد منها في اختيار وتصميم المبادل الحراري وهـذه المتطلبـات تعتمـد بالضرورة على التكاليف عملية الهبوط في الضغط فمثلاً إذا أجبر المائع خـلال المبـادل الحـراري بسرعات كبيرة فإن معامل انتقال الحرارة الكلي سوف يزيد ولكن هذه السرعات الكبيرة تتسـبب فـي هبوط في الضغط العالي مما يكون له الأثر الوضح عللا تكـاليف الضـخ (pumping cost) وفـي المقابل إذ زيدت مساحة سطح المبادل الحراري فإنه لي بالضرورة أن يكون معامل انتقـال الحـرارة الكلي وبالتالي الهبوط في الضغط عالياً ولكن قد ظهر مشكلة الحجم الكبير كمشـكلة فـي المسـاحة المتوفرة للمبادل الحراري هذا بالإضافة إلى ان زيادة الحجم تزيد من تكلفة المبادل الحراري.

عليه فإنه لابد من الحكم الحصيف والمتعقل الحذر وأخذ كل العوامل عالية في الاعتبار حتـى تنتهـي باختيار أو تصميم صحيح للمبادل الحراري.

(prudent judgment and a consideration of all these factors will result in a proper selection or design of a heat exchanger)

الفصل الثاني

تقنية ديناميكا الموائع المحوسبة

الفصل الثاني

2- تقنية ديناميكا الموائع المحوسبة (CFD)

2-1 تمهيد:

استعملت الطرق العددية لحل مشاكل سريان الموائع وانتقال الحرارة كنتيجة لصعوبة الحل التحليلي المرتبط بالمشاكل الهندسية العملية وفي أغلب الأحوال يكون الحل التحليلي مستحيلاً ويحتم استعمال الطرق العددية وهنالك عوامل كثيرة تستدعي استخدام الطرق العددية منها تعقيدات الشكل الهندسي وعدم انتظام الشروط الحدية واعتمادها على عامل الزمن وغيرها.

الأساليب العددية المستعملة في التحسيب تعرف بمصطلح وهو التقسيم (meshing) وهو عملية تقسيم المجال الحاسوبي إلى عدد من النقاط كل نقطة تمثل بمعادلة.

2-2 لمحة تاريخية:

وضعت الأسس الرياضية لنظرية المرونة في القرنين السابع عشر والثامن عشر على يد علماء مثل هوك (Hook) و أويلر (Euler) والذين ركزوا الاهتمام على علاقات (الاجهاد – التشوه) وعلى استخراج حلول للمعدلات التفاضلية الحاكمة لمرونة الأجسام اعتمادا على مبادئ الطاقة. وفي القرن التاسع عشؤ أسهم علماء ومهندسون مثل نافيير ستوك (Nervier) و سانت فينانت وماكسويل (Maxwell) وكاستيليانو (Castiglione) ومورفي في تطوير تطبيقات نظرية الإنشاءات استناداً إلى المبادئ الرياضية التي وضعت سابقاً وانحصرت التطبيقات الأساسية في إيجاد حلول مباشرة صغيرة من المنشآت الأساسية في إيجاد حلول مباشرة لفئة صغيرة من المنشآت ذات الشكل الهندسي البسيط لأن حلول التطبيقات الأكثر تعقيداً تقتضي مقدرة حسابية لم تكن وافرة آنذاك.

وفي القرن العشرين توجه الاهتمام منذ النصف الأول إلى تطوير طرق مختلفة غير المباشرة لحل فئات معينة من المنشآت أهمها المنشآت الهيكلية المكونة من حواجز وقضبان يتصل ببعضها ببعض

لتشكل حواجز مستمرة إطارات مستوية وفراغية وكان أحد التطورات الجديرة بالاهتمام في هذا المجال أن الطريقة صالحة لتحليل منشآت هيكلية معقدة إلا أنه كان من المتعذر علمياً حل جملة المعادلات الأنية الكبيرة الناتجة من مثل هذه المنشآت قبل اختراع الحاسوب الإلكتروني وهنا كان أحد الدوافع وراء تطوير هذه المنشآت قبل اختراع الحاسوب الالكتروني وهنا كان أحد الدوافع وراء تطوير العالم هاردي كروس (Hardy Cross) لطريقة توزيع العزوم الشهيرة التي استطاعت عن الحل المباشر لجملة المعادلات الخطية بحل تكراري عددي مناسب للحساب اليدوي وقد سيطرت طريقة توزيع العزوم على الحساب الإنشائي سيطرة شبه كاملة حتى دخل الحاسوب الالكتروني في مجال التطبيق في الهندسة المدنية وادخل تغييراً جذرياً في منهجية الحل الانشائي وأولوياته وذلك منذ منتصف القرن العشرين. يصعب تحديد المنشأ الحقيقي لطريقة العناصر المنتهية إلا أن أول من استعمل تعبير (عنصر منتهي) هو كلوف عام 1960م.

ثم شهدت الستينيات تطوراً كبيراً في طريق العناصر المنتهية رافقت التطور السريع في الحواسيب الالكترونية وكان التركيز في تلك الفترة على استخراج عناصر منتهية جديدة متخصصة وتطوير طرق حل عادية مختلفة لحل جملة المعادلات الآنية الكبيرة.

في السبعينيات خرجت طريقة العناصر المنتهية من طور البحث العلمي لتصبح كريقة معتمدة أكاديمياً وفي مجالات متعددة من العلوم الهندسية وشهدت تلك الفترة تطورات كبيرة في مجال التطبيقات اللاخطية والتطبيقات المتقدمة الأخرى كالتحليل الديناميكي للمنشآت وشدت أيضاً تأسيس عدد كبير من المنشآت العامة للدراسات المتخصصة (الإنشائية وغير الإنشائية)، وقد نال بعضها شهرة دولية.

وقامت شركات ومؤسسات علمية خاصة برعاية برامج عناصر منتهية مختلفة التخصص وتطويرها مثل (ADIN) وغيرها وقد استمر تطوير طريقة العناصر المنتهية مسارعاً في الثمانينات والتسعينيات لتصبح الطريقة الأساسية في التحليل في كثير من المجالات والتخصصات العلمية.

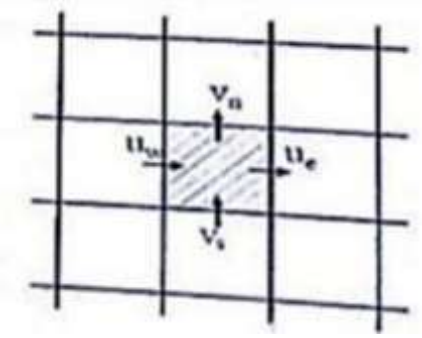
2-3 الطرق العددية:

وتشمل الطرق العددية المستخدمة في مجال ديناميكا الموقع المحوسبة (CFD)

2-3-1 طريقة الحجوم المحددة (FVM):

الفكرة الأساسية لطريقة الحجوم المحددة هي تقسيم الشكل التكاملي إلى العديد من الحجوم التحكمية التي تغطي مجال الاهتمام. شكل الحجم التحكمي يعتمد على طبيعة الشكل الهندسي.

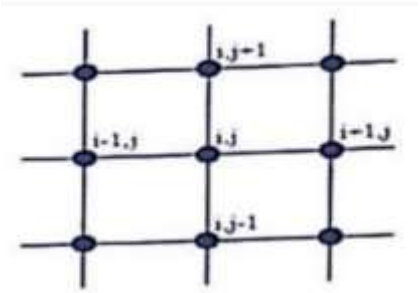
الشكل أدناه يوضح الحجم التحكمي في (FVM).



شكل (2-1) الحجم التحكمي في (FVM)

2-3-2 طريقة الفروق المحددة (FDM):

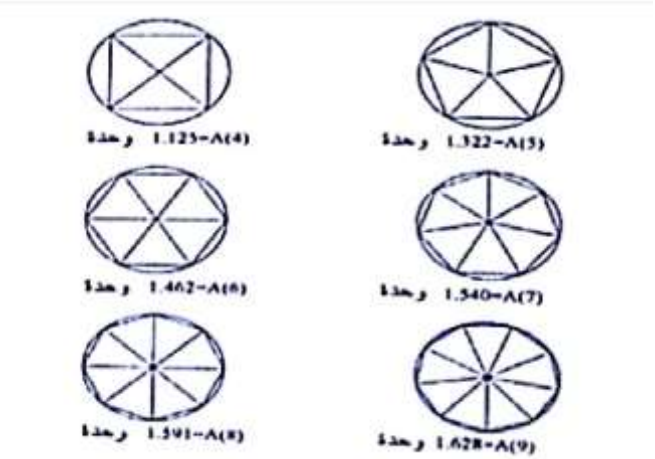
هي عبارة عن طريقة رياضية تطبق بواسطة متسلسلة تايلور بحيث تقوم بإجاد مجموعة من المعادلات التفاضلية للحصول على سلسلة من المعادلات التي تصف مشتقات المتغيرات للفروق لقيم المتغير في النقاط السابقة في الفراغ أو الزمن. الشكل أدناه يبين التقسيم والانتقال في (FDM)



شكل (2-2) التقسيم والانتقال (FDM)

2-3-3 طريقة العناصر المحددة (FEM):

تعد طريقة العناصر المنتهية أسلوباً عددياً لحل جملة المعادلات التفاضلية العادية أو الجزئية وتعتمد على فكرة تقسيم الوسط المدورس إلى عدد من الأجزاء أو العناصر (elements) ويمكن استنتاج سلوك الوسط المستمر الذي تحكمه جملة المعادلات التفاضلية الجزئية أو الكلية المدروسة من التجميع المباشر للحلول العددية للأجزاء أو العناصر المشكلة له. والشكل أدناه يوضح تقسيم كره بطريقة العناصر المحددة.

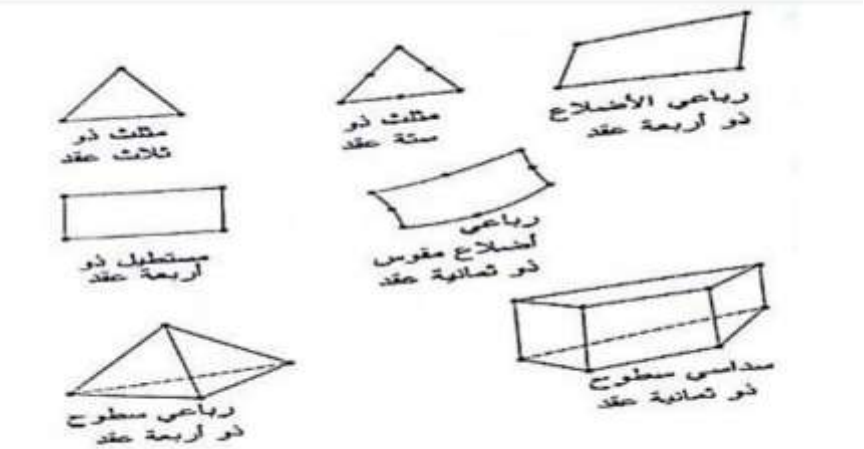


شكل (2-3) تقسيم كرة بطريقة العناصر المحددة

على الرغم من أن الفكرة التي تعتمد عليها الطريقة (التحليل بالتجزئة ثم التركيب) قديمة نسبياً إذ استخدمها الرومان والمصريون القدماء لحل مسائل مختلفة منها على سبيل المثال حساب مساحة الدائرة من خلال تقريبها إلى عدد من الأشكال الشهيرة إلا أن طريقة العناصر المنتهية هي طريقة حديثة نسبياً وقد تبلورت وأخذت أبعادها الحقيقية من التطبيقات في مجال الهندسة الإنشائية وتم تعميمها على مجالات عديدة أخرى فيما بعد حتى أصبحت أهم طريقة للتحليل العددي باستخدام الحواسيب الالكترونية في التطبيقات الفيزيائية المعقدة عددياً (نظرية المرونة والإنشاءات أو مسائل الهيدروليك والانتقال الحراري ... الخ)، والرياضي يراها أسلوباً للحل العددي للمعادلات التفاضلية الجزئية وينطبق على بقية الاختصاصات العلمية المختلفة.

2-4 مبدأ العناصر المحددة والخطوات الرئيسية:

تعتمد فكرة العناصر المنتهية (المحدودة) على تقسيم الوسط المستمر المدروس إلى أجزاء منتهية الأبعاد ليمكن وصف سلوك هذه العناصر الصغيرة كل على حدة ومن ثم استنتاج سلوك الوسط المستمر وذلك عن طريق التجميع المباشر لأجزائه. ويمكن أن تطبق الطريقة على أي وسط مستمر (continuum) مثلا منشأ هيكلي، أو مستوى، أو حجمي، أو على وسط سائل، وأي مسألة فيزيائية قابلة للوصف ع طريق معادلات تفاضلية، وقد تم تطوير عناصر منتهية خاصة بالمسائل الخطية والمستوية والفراغية وفق ما هو مبين في الشكل أدناه:



شكل (2-4) بعض أشكال العناصر المنتهية المستوية والفراغية

2-5 أهم التطبيقات الحالية لطريقة العناصر المنتهية:

يمكن جعل طريقة العناصر المنتهية في الوقت الحاضر ألوباً عاماً للحل العددي لجملة المعادلات التفاضلية الخاضعة للشروط الحدية والابتدائية المناسبة ويمكن تصنيف التطبيقات الهندسية للطريقة إلى عدد من المجالات من أهمها:

2-5-1 منشأة الهندسة المدنية:

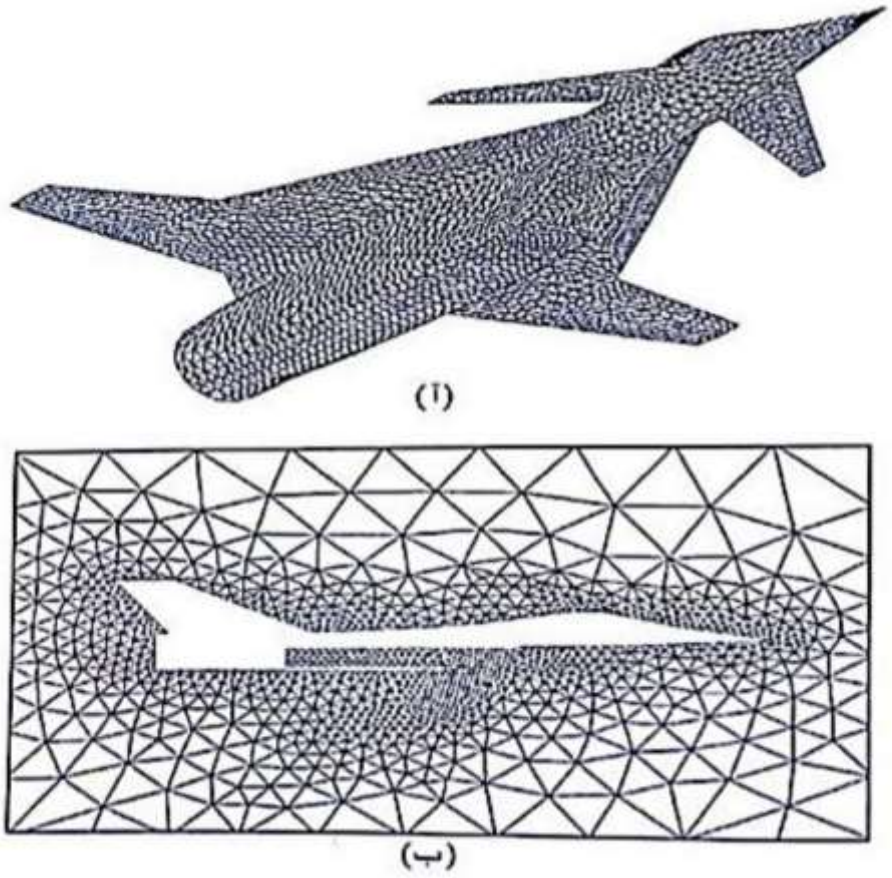
تستخدم طريقة العناصر المنتهية للتحليل الساكن والديناميكي (التحليل الديناميكي يأخذ في الحسبان التغير الزمني للحمولة ضمن فترة التحليل) للجور والمنشآت الهيكلية الثلاثية والسدو والخزانات وغيرها.

2-5-2 الصناعات الجوية:

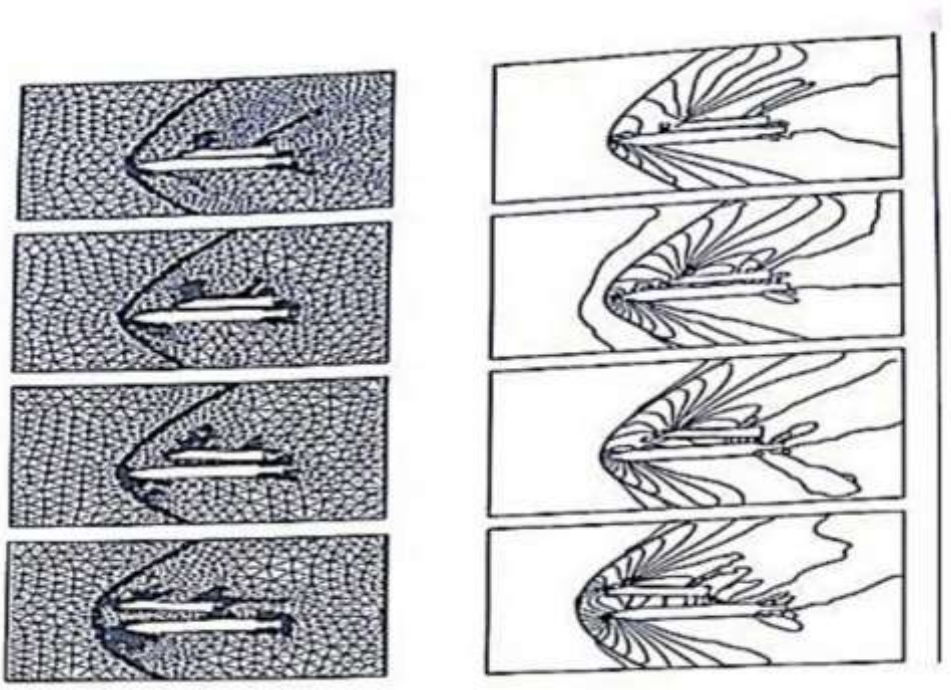
يتم تحليل هياكل منشآت الصناعات الجوية كالطائرات والصواريخ المكوك الفضائي وغيرها بهدف تحديد الإجهادات والتشوهات التي تتعرض لها في أثناء ظروف عملها المختلفة ومن ثم تطوير تصميم المنشآت لتستطيع تحمل الإجهادات والتشوهات المحسوبة من خلال طريقة العناصر المنتهية، ويبين الشكل أدناه (أ) تشبيكات (mesh) عناصر منتهية خاصة بتحليل أحد نمازج الطائرات الحربية بينما أدناه (ب) الاجهادات الهوائية المتشكلة على المكوك الفضائي خلال مرحلة الانطلاق وانفصال صواريخ الدفع عن المكوك المدروس.

2-5-3 هندسة الجيوتكنيك:

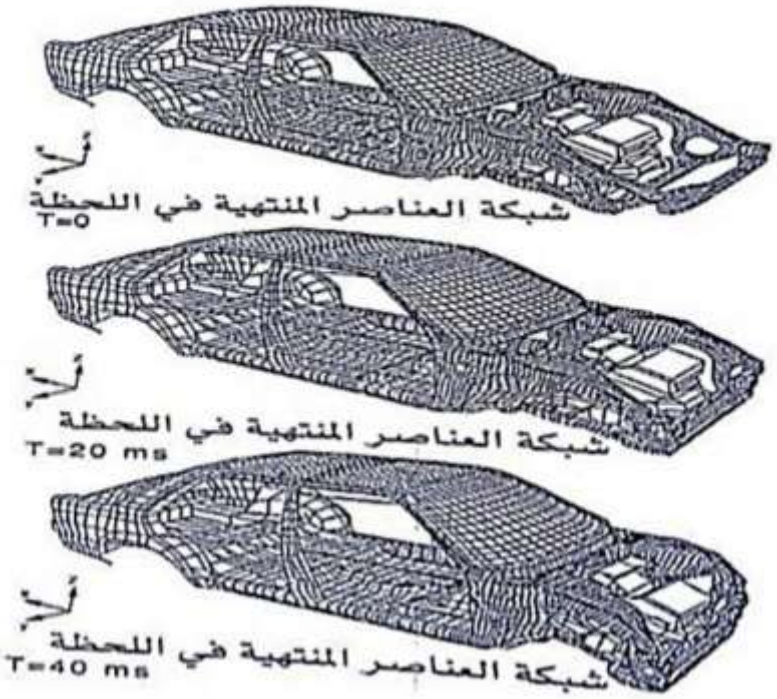
تستخدم طريقة العناصر المنتهية في تحليل الأنفاق والمنشآت تحت الأرض.



شكل (2-5) تشبيكات MESH عناصر منتهية خاصة بتحليل أحد نماذج الطائرات الحربية



شكل (2–6) الإجهادات الهوائية المتشكلة على المكوك وانفصال صواريخ الدفع عن المكوك المدروس الفضائي خلال مرحلة الانطلاق



شكل (2–7) محاكاة لمراحل تطور الحالة الاجهادية لهيكل أحد أنواع السيارات في أثناء تصادم أمامي افتراضي للنموذج المطور بوساطة طريقة العناصر المنتهية

2-6 الآفاق المستقبلي المتوقعة للطريقة:

بدأ في فترة الثمانينيات والتسعينيات من القرن الماضي في تطوير هجينة بين طريقة العناصر المنتهية التي تعالج أوساطاً ذات طبيعة محددة فيزيائية وطرائق رياضية أخرى يمكن أن تمتد بأوساط كفراغات أو أنصاف فراغات غير منتهية كتوابع غرين (green function) مثلاً لمعالجة بعض المسائل ذات الامتدادات اللامنتهية كما في مسائل الانتشار الموجي (wave Propagation problems) وقد سميت الطريقة المطورة بطريقة العناصر المحيطية وينتظر أن يتسع مثل هذا "التزاوج" بين طريقة العناصر المنتهية وطرائق رياضية أخرى لتنتج طرائق "عددية حاسوبية جديدة قادرة على معالجة مسائل هندسية ذات طبيعة خاصة".

تعد طريقة الشرائح المنتهي والمستخدمة في تحليل الجسور وطريقة الفروق المنتهية على ص بطريقة العناصر المنتهية لأنهما تشتركان في العديد من الراحل المتخصصة ويمتاز كل منهما بمراحل مختصرة أخرى مقارنةً مع طريقة العناصر المنتهية وذلك لأنهما تختصان في حلول عددية لمسائل هندسية محددة.

2-7 أسلوب ديناميكا الموائع المحوسبة (Computational Fluid Dynamic)

2-7-1 مقدمة:

علم ديناميكا الموائع المحوسبة هو أسلوب يقوم بالتنبؤ بحركة الموائع، انتقال الحرارة وانتقا الكتلة، التفاعلات الكيميائية والعديد من المسائل الهندسية المتعلقة بسريان الموائع حيث يتم صياغة المسألة المعينة في شكل نموذج رياضي فيزيائي وذلك بتحديد المعادلات التفاضلية الجزئية الحاكمة للمشكلة وتحويل هذه المعادلات التفاضلية الحاكمة إلى معادلات جبرية ويتم ذلك باستخدام الطرق العددية منها:

- طريقة العناصر المنتهية.
- طريقة الحجوم المحددة.

- طريقة الفروقات المحددة.

2-7-2 لمحة تاريخية:

منذ فجر الحضارة والجنس البشري كان دائماً مهووساً بالموائع سواء كا ذلكتدفق المياه في الأنهـــار، الرياح والطقس في الغلاف الجوي، صهر المعادن، التيارات البحرية القوية وتدفق الدم في جميع أناء الجسم. في العصور القديمة افترض المفكرين اليونانيين مثل هيراقليطس أن "كل شيء يتدفق" لكـــنهم كانوا يفكرون في هذا بالمعنى الفلسفي وليس بطريقة علمية معترف بها، زمع ذلـــك بـــدأ أرخميـــدس بالبحث في مجال ميكانيكا الموائع وتحديد كيفية قياس الكثافة واحجام الكائنات وكان التركيز في ذلـــك الوقت على تدفق المياه في الأنهار. أبان عصر النهضة في القرن السابع عشر هذه الأفكار عادت إلى الظهر مرة أخرى في جنوب أوروبا عندما قام الفنانين الكبار والمهندسين مثـــل ليونـــاردو دافينشـــي بدراسة العالم الطبيعي خاصة السوائل والتدف وأشار إلى الظواهر الطبيعية في العالم، واصـــفاً إياهـــا بالصور بالضبط كما كانت.

وأعقب ليوناردو دافينشي في القرن السابع عشر العالم اسحق نيوتن في أنكلترا حيث حاول ننيـــوتن التنبؤ بظاهر تدفق علاقاته الابتدائية بالمعادلات الفيزيائية تضمنت إهامات نيوتن في مكيانيكا الموائـــع الي وضع في القانون الثاني لدينايمكا الحرارية الذي يتحدث حول مفهوم القوة المؤثرة على الســـوائل المتحركة ستساوي التغير في كمية حركة هذه السوائل كذلك بحث في العلاقة بين سرعة الموجات عل سطح السائل والطول الموجي لها. في القرنين 18 و 19 وقد تم عمل كبير من قبل العلماء في محاولة وصف حركة السوائل رياضياً وكان من نتائج هذا العمل معادلة الاستمرارية للعالم برنـــولي (1782-1700) أيضاً معدلات أويلر (1783-1707) والتي تصف الحفاظ على الزخم للموائـــع الانضـــغاطية وحفظ الكتلة، كما اقترح نظرية الطاقة أيضاً كانت هنالك مساهمات مهمة في مجال تدفق السوائل فـــي ذلك الوقت من قبل الفرنسي كلود لويس ماري هنري نافير (1836-785) والايرندي جورج جبريـــل

ستوكس (1819–1903) الذي أيضا خاصية اللزوجة في معادلات أويلر والتي أسفرت عن معادلة نافيير سوكس الشهيرة هذه الصيغ من المعادلات الرياضية التفاضلية التي اقترحت نحو 200 سنة هي أساس العصر الحديث لتقنية ديناميكا الموائع الحسابية (CFD) وكانت تتضمن معادلات لحفظ الكتلة، والزخم، والضغط والاضطراب كما يصعب حلها بالطرق التحليلية آنذاك. عند ظهور الحواسيب الرقمي الحديثة في 1960 و1970 أمكن حل هذه المعادلات بسهولة ضمن فترات زمنية معقولة.

كانت الشخصيات الرئيسية الأخرى الذين طوروا نظريات تتعلق بتدفق السوائل في القرن ال19 لورندالمبير، سوميون دنيس بواسون ، جوزيف لويس لاغرنج، جان لويس ماري بوازوي، جون وليم رايلي، M، موريس أوزبوزنرينولدز، وبييرسيمن دي لابلاس.

في نهاية القرن العشرين شهد مجال ديناميكا الموائع المحوسبة طفرة كبيرة نسبة لتطور الحواسيب وظهور الأدوات البرمجية مثل برنامج الماتلاب أبان ظهور بع الحزم البرمجية التجارية مثل برنامج (ANSYS fluent) (Auto Desk).

2-7-3 أسباب تطور علم ديناميكا الموائع المحوسبة:

1. تطور الحواسيب حيث أصبحت ات قدرة حسابية عالية مما أمكن إجراء ملايين من العمليات الحسابية في ثواني محدودة بدقة عالية.
2. تكلفة وصعوبة التجارب المعملية حيث لاختبار مشكلة معملياً يجب صناعة نموذج بالمقياس الكامل وهذا لا يمكن تطبيقه في الواقع على عكس أدوات).
3. تصميم نموذج بالمقياس الكامل واختبار والحصول على نتائج ذات دقة عالية بدون بذل الجهد والمال.
4. المخاطر والتأثيرات البيئية الناتجة من بعض التجاب مثل اختبار غرف الاحتراق لصواريخ والمحركات الغازية.

2-7-4 المنهجية المتبعة في ديناميكا الموائع المحوسبة:

تقوم المنهجية في التحسيب على المرور في ثلاث مراحل أساسية:

- مرحلة ما قبل المعالجة (Pre-processing):

وهي المرحلة التي يتم فيها إدخال جميع المدخلات المتعلقة بالمشكلة العينة إلى البرامج بواسطة أدوات ونوافذ الإدخال ومن ثم تحويل المدخلات إلى الصورة التي تلائم المعالج وهذه المرحلة تتضمن الآتي:

1) تعريف المجال الحاسوبي (النموذج) حيث يتم رسمه عن طريق برمج الرسم الحاسوبية أو إدخال إحداثيات رقمياً.
2) إنشاء الشبكة (meshing) وهي علية تقسيم المجال إلى نقاط كل نقطة تمثل بمعادلة جبرية يتم حلها في النقطة المعينة ودقة التحسيب، تعتمد أساساً على التقسيم (meshing) فكلما قل حجم الشبكة (تقسيم أكثر دقة) يعني ذلك الحل في نقاط أكثر وبالتالي زيادة دقة الحل لكن يكون ذلك على حساب زمن الحل ومساحة المعالج والعكس بالعكس.
3) تعريف أو تحديد الظاهرة الفيزيائية للمشكلة حيث يتم اختيار النموذج المناسب للحل (سريان موائع، انتقال حرارة، تفاعلات كيميائية، ...الخ).
4) تعريف خواص المادة تحت الدراسة حيث يتم اختيار النموذج الرياضي المناسب للحل.
5) تعريف الشروط الحدية وهي الحدود المحيطة بالمجال الحاسوبي والتي يكون عندها مدخل السريان أو المخرج وتساعد هذ الشروط كثيراً في تعريف ووصف المشكلة أوصل للحل.
6) اختيار طرق الحل والتقريب والتحكم فيه وهذه الأخيرة متعلقة بطرق وأساليب الحل العدي ويعتمد اختيارها على طبيعة المشكلة ومدى تعقيدها.

- مرحلة المعالجة (Processing):

وفي المرحلة التي يتم فيها الوصول لحل لمشكلة المعينة وهذه المرحلة تتلخص في الآتي:

- يتم تحويل المعادلات الحاكمة للسريان وانتقال الحرارة لجميع الحجوم التحكمية إلى منظومة من المعادلات الجبرية لإحدى طرق التحليل والعددي وهذه العمية تكافئ تطبيق قوانين الحفظ في جميع الحجم التحكمي.
- يتم حل تلك المعادلات الجبرية بورة تكرارية وهذا يرجع للطبيعة الخطية للمعادلات حيث يتم تحديد عدد معين للتكرار ويتوقف عنده المعالج عند الوصول إليه. مع كل تكرار يتم حساب قيم لخواص المائع عند كل نقطة ولمعرفة ما إذا كان الحل هو الحل المرتقب أم لا ويتم تحديد سماحية لدقة الحل وهي عبارة عن نسبة خطأ تحسب بين كل تكرار والآخر والوصول لهذه النسبة يكون علامة الوصول للحل المرتقب وهذا ما يعرف بتقارب الحل.

- مرحلة ما بعد المعالجة (processing-post):

هي المرحلة التي يتم فيها عرض وتحليل النتائج بصورة تفاعلية جاذبة بعد وبعد استلامها من المعالج.

2-7-5 مقارنة بين أسلوب ديناميكا الموائع المحوسبة والتجارب المعملية:

الجدول (2-1) مقارنة بين أسلوب ديناميكا الموائع المحوسبة والتجارب المعملية:

أسلوب ديناميكا الموائع المحوسبة CDF	التجارب المعملية EFD
يمكن عمل نموذج بالمقياس الكامل.	صعوبة عمل النماذج بالمقياس الكامل.
مكن قياس نموذج النتائج ذاتياً بواسطة البرنامج كذلك يتم قياس عدد كبير من المتغيرات لتجربة واحدة.	يحتاج لأدوات قياس المتغيرات والتي قد ينتج عنها أخطاء عند قراءة النتائج كذلك محدودية المتغيرات التي يمكن قراءتها لتجربة واحدة.
يمكن استخدام النموذج لمدى واسع من الاختبارات.	في الأغلب يتم استخدام النموذج لعدد حدود من الاختبارات.
تصميم النموذج واختباره لا يحتاج لوقت كبير.	صناعة النموذج وإجراء الاختبار يحتاج لزمن كبير.
غير مكلف.	تكاليف النموذج عالية لإجراء التجارب.

2-7-6 أهداف أسلوب (CFD):

1. وضع تصاميم جديدة (new design).
2. تحسين الإنتاج.
3. إعادة التصميم (redesign).

2-7-7 تطبيقات أسلوب ديناميكا الموقع المحوسبة (CFD):

- مجال الفضاء.
- في صناعة السيارات.
- اختبار غرف احتراق الصواريخ والمحركات الغازية.
- محطات نقل القدرة.
- الدوائر الهيدروليكية.
- أنظمة التكييف المركزي.
- المعالجة الكيميائية.
- علم الطب.
- دراسة الظواهر الطبيعية.

الفصل الثالث

التحليل باستخدام برنامج (ANSYS fluent)

الفصل الثالث

3- التحليل باستخدام برنامج (ANSYS fluent)

3-1 مقدمة:

ظهر برنامج ANSYS من شركة (.ANSYS Inc) في البداية كبرنامج متخصص ي حـــل مســـائل طريقة العناصر المنتهية (Finite element Method problem) والتطبيقات الهندسية في ديناميكـــا الموائع المحوسبة وهو برنامج يستخدم في محاكاة تلك المسائل واستقرار نتائجها باستخدام الحاسب وقد اكتسبت الشركة المصنعة شهرتها الواسعة بعد انتاجها برنامجي (ANSYS Mechanical) وبرنامج (ANSYS Metaphysics) وهي برامج تحوي على أدوات تحليلية لعمليات ما قبل المعالجة للمسائل الهندسية الميكانيكية (كعميات التصميم والرسم وبناء الهياكل الشبكية) وحل هذه المسائل ومعالجتها مرة أخرى لإخراج النتائج بالشكل الأكثر تناسباً مع الواقع العملي وكل ذلك بواجهـــات تخاطبيـــه (GUI) سهلة التعامل.

أكثر ما تستخدم أدوات برامج (ANSYS) في تحليلها هو التحليل العددي لمسائل العناصر المنتهيـــة التي يصعب عليها حلها بالطرق التقليدية وذلك سواء للمسائل التحليل الديناميكي أو استاتيكياً أو الخطي أو الغير خطي ومسائل انتقال الحرارة وديناميكية السوائل وحوســـبتها وكـــذلك مســـائل التطبيقـــات الكهروضوئية أو الكهرومغناطيسية.

يمكن للكثير من الاختصاصات الهندسية والكهربائية الاستفادة من إمكانيات هـــذه البرمجيـــات مثـــل الهندسة الحيوية والهندسة الميكانيكية والهندسة الكهربائية وحتى الفيزياء والكيمياء.

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

وفي عام 2003 تم تطوير قطاع ديناميكا الموائع المحوسبة تطبيقاتها الهندسية في عام 2008 طورت شركة (ANSYS) منتجات شركة (An Soft) هي شركة رائدة في تطوير برمجيات التصميم الالكتروني عالية الأداء وأضافت أدوات تدعم تطبيقات نظم الاتصالات والشبكات، بناء الدوائر المتكاملة والنظم الالكتروميكانيكية.

لقد منح هذا التطور شركة (ANSYS) وبرامجها لأن تحتل مكنة ملحوظة في قطاع الصناعة وقريباً في القطاع الأكاديمي لما تحققه من ربط ديناميكي بين النظم الالكترونية والنظم الميكانيكية.

أيضاً يدخل هذا البرنامج في التطبيقات الطبية حيث يستخدم في اختبار تصميم المنتجات الطبية مثل الدعامات التي تستخدم لتبطين جدار الشريان في حال حوث توسع وفقدان خاصية التمدد والرجوع إلى الحالة الطبيعية وأيضاً يستخدم التحليل مشاكل ضيق الشرايين التي تؤدي الى تجلط الدم وانسداد شرايين الدماغ مؤدياً الى السكتة الدماغية. ويوفر هذا البرنامج إمكانية تعريف الجزء المراد إجراء الاختبار عليه وذلك بإدراج الإحداثيات والأبعاد سواء كانت ثنائية أو ثلاثية الأبعاد، وأيضاً خصائص الدم من كثافة ولزوجة وسرعة جريان الدم والضغط، ومن ثم يتم عمل تحليل للنتائج والوصول في الحلول المناسبة ليتم تطبيقها عملياً وتفادي التأثيرات الجانبية.

3-2 أهم التطبيقات الهندسية التي يتعامل معها برنامج (ANSYS):

1. الطائرات (Aerospace).
2. السيارات (Automotive).
3. في الطب الاحصائي (Biomedical).
4. الجسور والأبنية (Bridges & Building).
5. الأجهزة الالكترونية (Electronic Appliance s).
6. الأجهزة الكهرو ميكانيكية الدقيقة ((Micro-electric mechanical system.

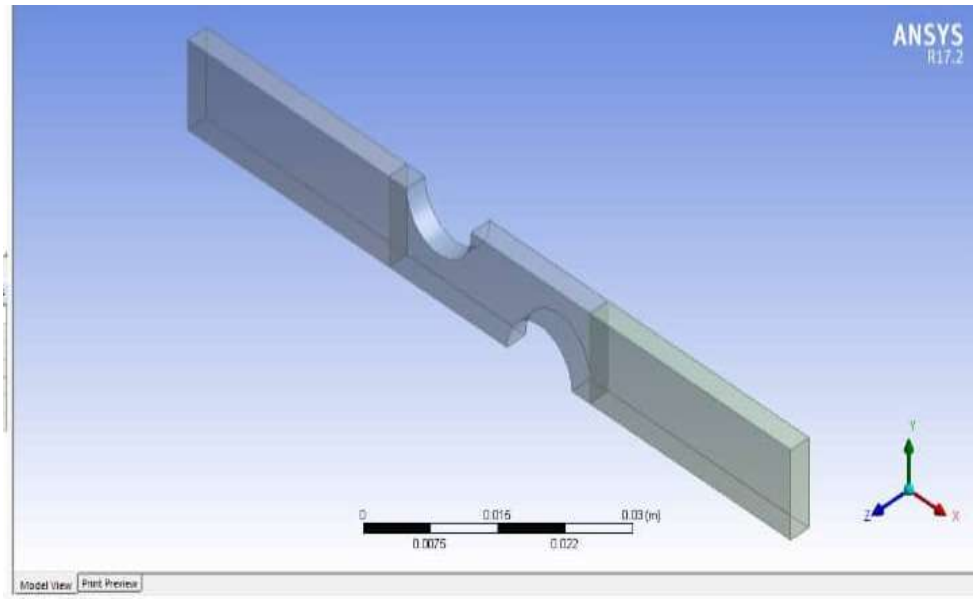
7. السلع الرياضية (Sporting Goods).

3-3 مراحل النمذجة بالبرنامج:

يتم حل المشكلة أو المسألة الهندسية المعينة ببرنامج (ANSYS fluent) بعمل الخطوات التالية:

3-3-1 المرحلة الأولى: تصميم النموذج (Design Model):

لإجراء المحاكاة باستخدام برنامج (ANSYS) أولاً علينا رسم الشكل الهندسي من مرحلة (Geometry) بالأبعاد المطلوبة كما في الشكل (3-1) أدناه:



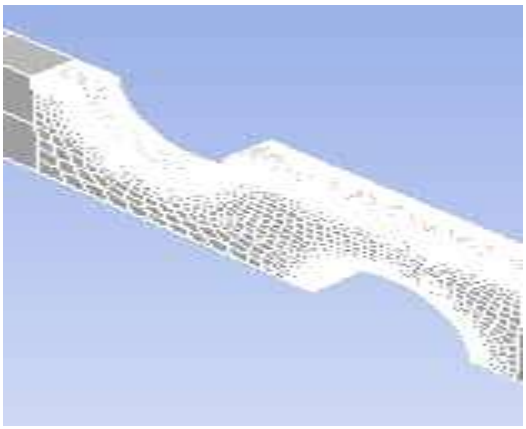
شكل (3-1) تصميم النموذج

بعد رسم الشكل يجب تعريف الأجزاء المكونة للنموذج حيث يتم:

تسمية منطقة الدخول بـ inlet ومنطقة الخروج بـ outlet وتغير النوع من solid إلى fluid.

3-3-2 المرحلة الثانية: تقسيم النموذج (meshing):

بعد رسم الشكل الهندسي تنتقل مراحل التقسيمات (mesh) وفيها يتم تحديد المداخل والمخارج والأسطح العازلة وتقسيم الشكل إلى أقسام صغيرة كما يوضح الشكل (3-2) أدناه:



شكل (3–2) النموذج بعد عملية التقسيم

حيث يتم تقسيم الشكل إلى 100291 عقدة و479819 عنصر (نلاحظ أن التقسيمات صغيرة جداً في المداخل لأن معدل السريان كبير).

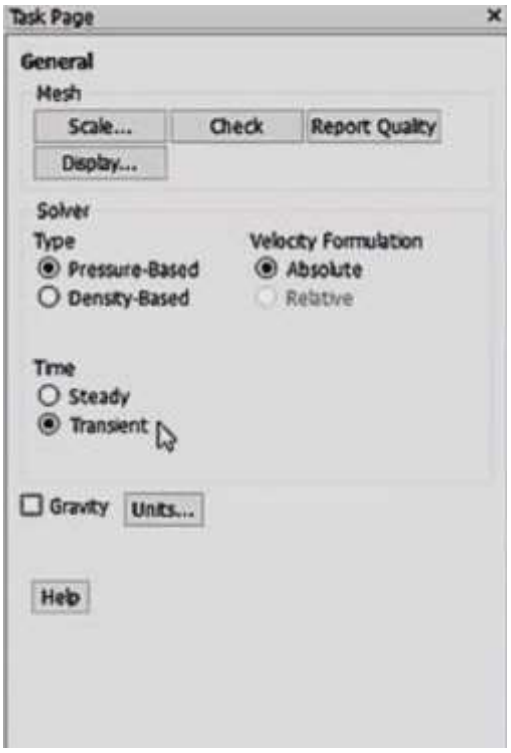
ملحوظة:

عندما يكون حجم العنصر دقيق (fine) هذا يتطلب عدد كبير من العمليات الحسابية لذلك عندما تكون النتائج المرجوة من التجربة ذات أهمية عالية بفضل تقسيم العناصر بشكل دقيق (fine) إما عندما تكون دقة النتائج غير بالغة الأهمية فيفضل اختيار حجم تقسيمات متوسط (medium) لتقليل العمليات الحسابية في مرحلة التحليل (solution).

3–3–3 المرحلة الثالثة: مرحلة (setup):

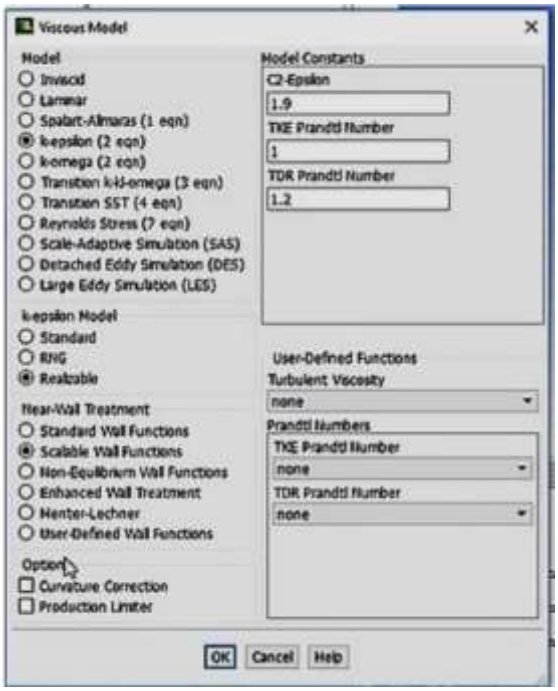
عند فتح مرحلة الضبط (setup) من تخطيط المشروع (project schematic) تظهر نافذة (setup) حيث يجب عمل عدد من الخطوات قبل الشروع في إجراء الحل وهي كالاتي:

1) من (general) شكل (3–3) أدناه يتم اختيار نوع الوحدات بنظام (si) والتأكد من وحدة قياس السرعة (rpm) أيضاً التأكد من إن التغير في انتقال الحرارة مستقر (steady) كذلك النوع (type) اعتماداً على الضغط (pressure based).



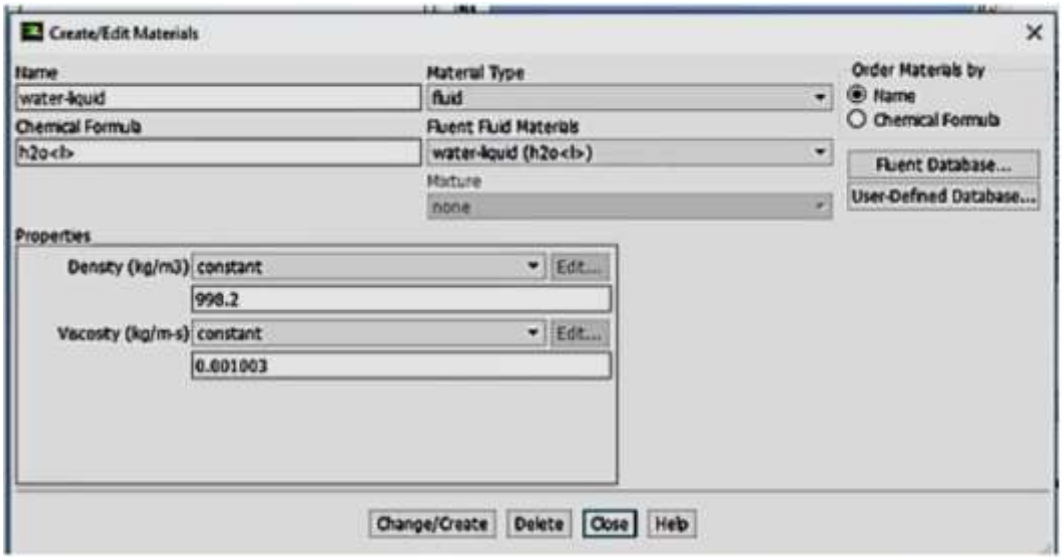
شكل (3–3) الضبط العام (general)

2) من (models) الشكل (3–4) أدناه يتم تفعيل معادلة (viscous Equation) كذلك تفعيل نمـــوذج (k-epsilon) حيث أنه النموذج المناسب لحل مثل هذه المسائل المتعلقة بســـريان الموائـــع وانتقـــال الحرارة.



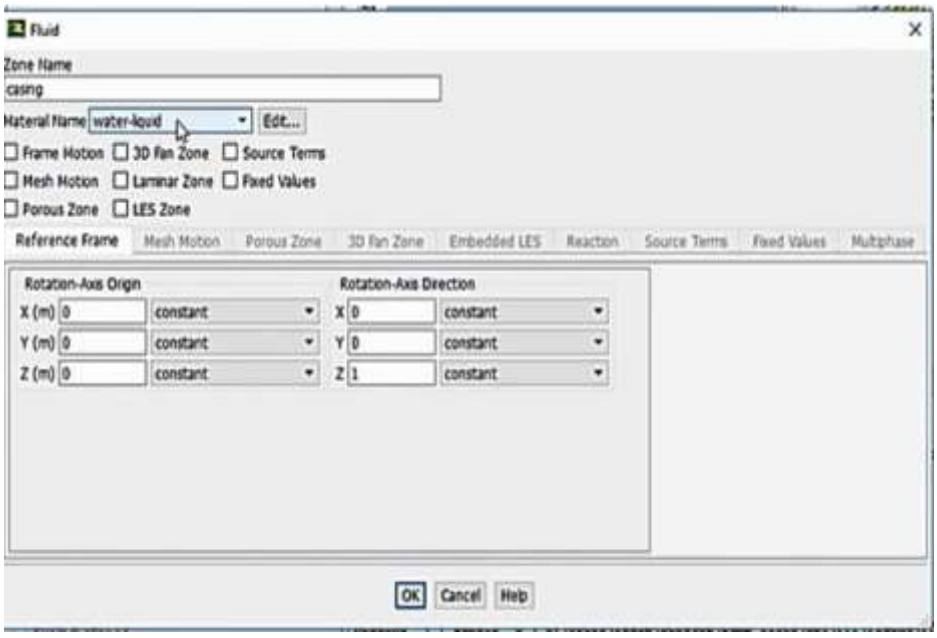
الشكل (3–4) اختبار معادلة (viscous Equation) ونموذج (k-epsilon)

3) من (material) في الشكل (3–5) يتم تحميل خصـــائص المـــواد الداخلـــة فـــي التجربـــة مـــن (fluent database) حيث يتم تحميل المائع (water-liquid).



شكل (3–5) إدخال خواص المائع المستخدم (الماء)

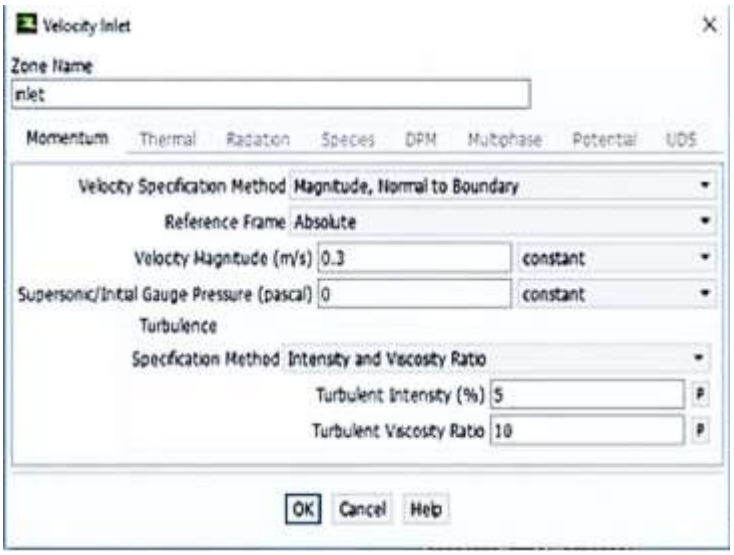
1) بعد تحميل المادة السابقة ومن (cell zone condition) في الشكل (3–6) يتم تغير نوع مـــادة كـــل المناطق المعرفة مسبقاً في مرحلة (geometry) حيث يتم تغير نوع المـــادة الجاريـــة فـــي الإطـــار الخارجي (casing) من (air) إلى (water-liquid).



شكل (3–6) تغير نوع المادة الجارية في الإطار الخارجي (casing)

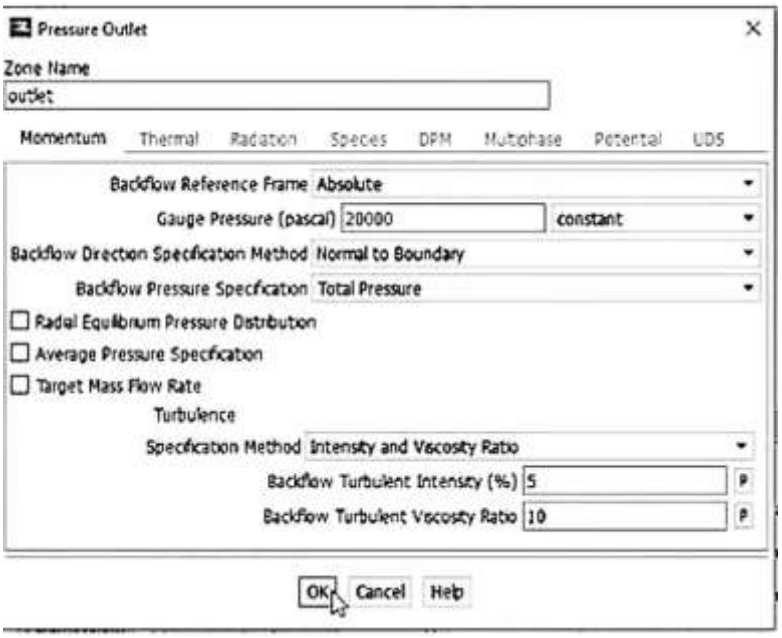
2) بعد تحديد المواد وأسلوب الحل المناسب يتم تحديد الشروط الحدية (condition-boundary) السرعة والضغط للماء.

حيث يتم إدخال السرعة 0.3 م/ث والضغط الأولي 0 Pascal عند المدخل.



شكل (3–7) إدخال السرعة والضغط عند المدخل

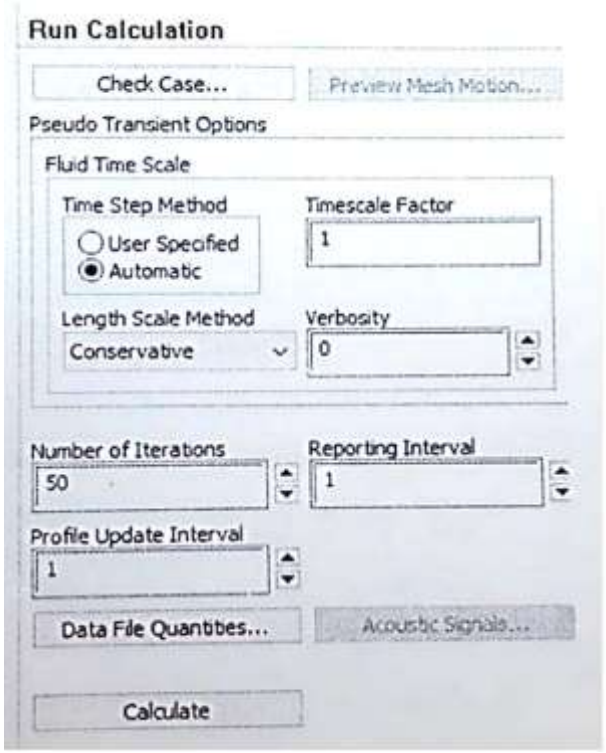
يتم إدخال الضغط 20000 Pascal عند المخرج (outlet). كما مبين في الشكل (3–8) أدناه.



شكل (3–8) إدخال الضغط عند المخرج

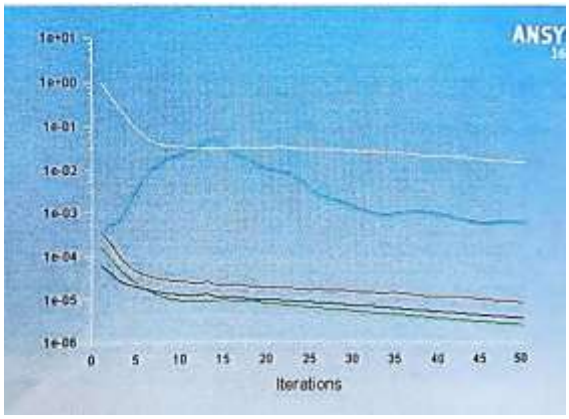
3-3-4 المرحلة الرابعة: مرحلة الحل (Solution):

في هذه المرحلة يتم تحديد عدد المرات الأزمة لإجراء الحل حيث يتم إدخال 50 محاولة كما مبين في الشكل (3-9) أدناه:



شكل (3-9) عدد مرات الحل (50)

كلما ذادت عدد مرات الحل كلما ذادت دقة النتائج المتحصل عليها من البرامج، الشكل (3-10) أدناه يبين عدد مرات الحل مع مقدار الخطأ.

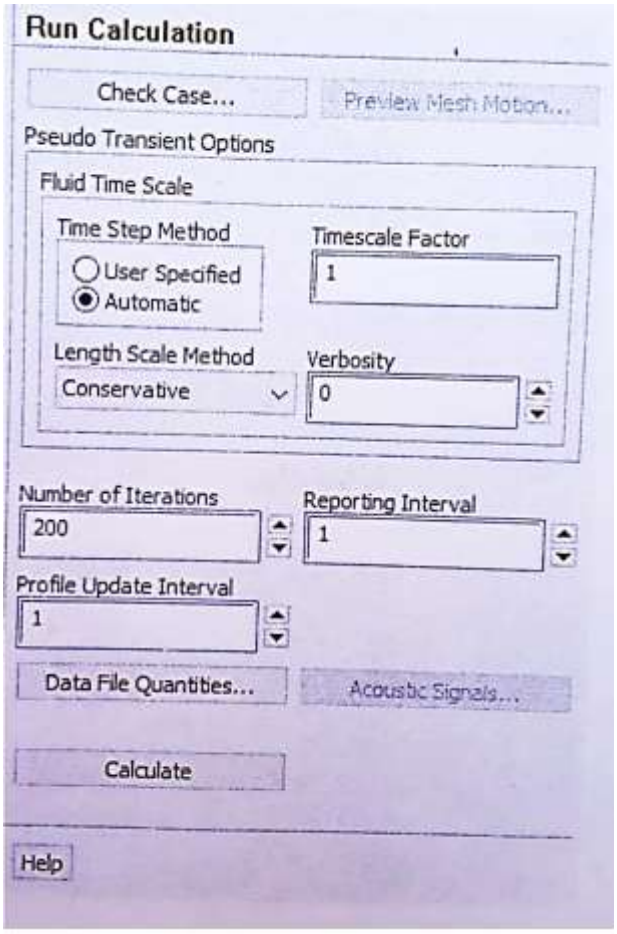


شكل (3-10) الخطأ وعدد التكرارات

3-3-5 المرحلة الخامسة: نتائج الحل (results):

بعد إجراء الحل يتم التحصل على النتائج وعرضها في مرحلة الـــ (results) في عدة صور ولكن ما يهمنا هو توزيع السرعات والضغوط ويمكن الاستفادة من إمكانية عرض النتائج فـــي شـــكل صـــور منسوبيه (). هذه الصور المنسوبية تعطي فكرة عن توزيع السرعات والضغوط على.

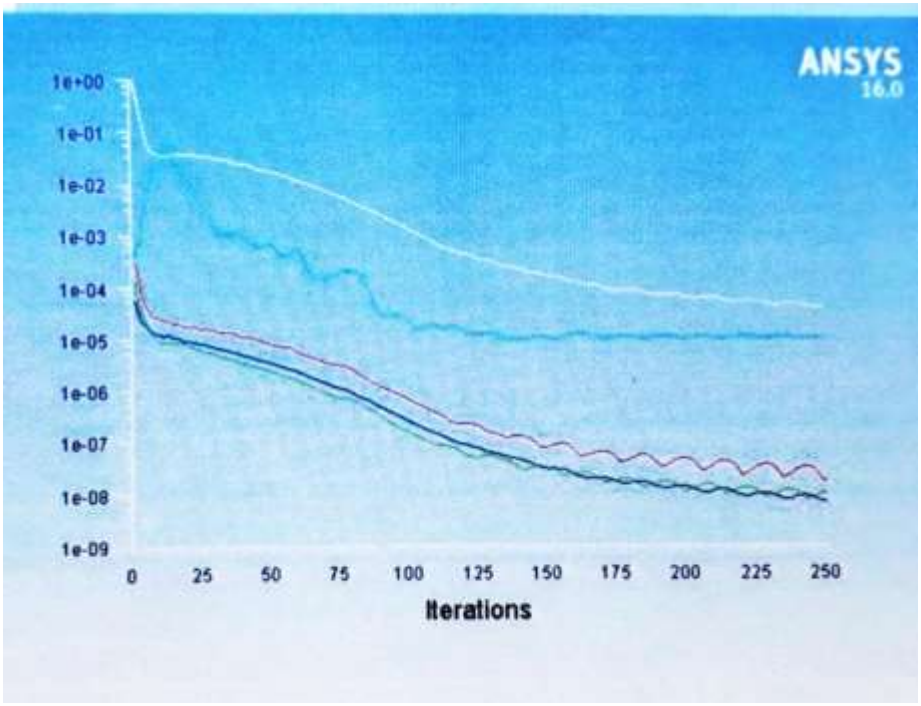
عند تكرار الحل 200 مرة والشكل (3-11) يبين عدد مرات الحل 200



شكل (3-11) يبين عدد مرات الحل 200

كلما زادت عدد مرات الحل زادت دقة النتائج المتحصل عليها من البرنامج

الشكل (3-12) أدناه يبين عدد مرات الحل مع مقدار الخطأ.



الشكل (3–12) عدد مرات الحل مع مقدار الخطأ

الفصل الرابع

تقنية ديناميكا الموائع المحوسبة

الفصل الرابع

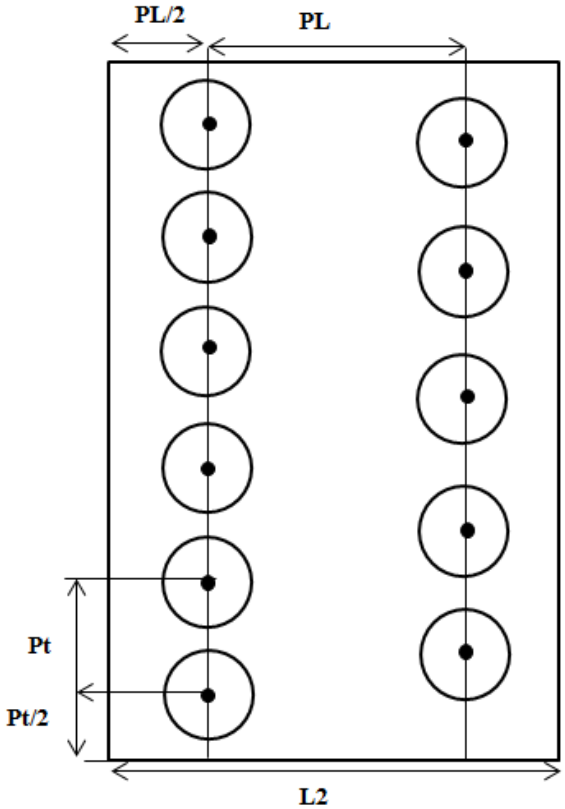
4- النمذجة والمحاكاة وتحليل النتائج

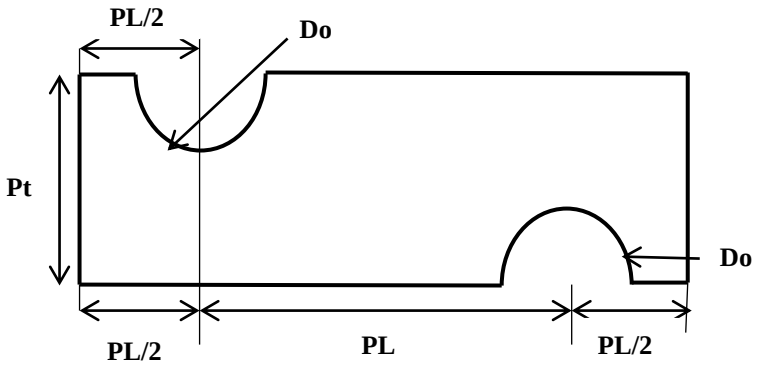
في هذا الفصل تم القيام بمحاكاة لأداء المبادلات الحرارية على مدخل ومخرج المبادل الحراري ويجب القيام بملاحظة التغيرات عند مدخل ومخرج المبادل.

المائع المستخدم هو الهواء.

جدول (4-1) خواص الهواء عند الظروف الطبيعية:

الخاصية	القيمة
الكثافة (ρ)	$1.225\ kg/m^3$
الحرارة النوعية (CP)	100643 J/kg.k
الموصلية الحرارية (K)	0.0242 w/m.k
اللزوجة (μ)	$1.7894 \times 10^{-5}\ kg/m.s$





Case

PL	15.84 mm
Pt	20.89 mm
Fp	3.18 mm
Do	10.2 mm
tw	1 m
tn	0.36 m
Dn	3.072 mm

Nt = 11

F_S = 2.8 mm

مساحة المبادل الحراري Ah:

$$Ah = A_p + A_f$$

إيجاد مساحة الأنبوب :

$$A_p = \pi\, D_\circ\left(L_w - t_f N_f L_w\right)N_t + 2(L_H L_L - 0.25\pi\,(D_\circ)N_t)$$

$$= \pi * 10.2\,(28.5 - 0.33 * 11 * 28.5)11 + 2(125.34 * 95.04 - 0.25 * \pi * (10.2)^2 * 11)$$

$= 4393.69mm^2$

$= 0.0043937m^2$

إيجاد مساحة الزعانف:

$$A_f = 2(L_L * L_H - 0.25\pi * (D_\circ)^2 N_t)N_f * L_w + 2\left(L_H * t_f * N_F + L_w\right)$$

$= 2(95.04 * 125.34 - 0.25 * \pi * (10.2)^2 * 11)11 * 28.5 + 2(125.34 * 0.33 * 11 * 28.5)$

$= 6931381mm^2$

$= 6.9314m^2$

$$\therefore Ah = 0.0043937 + 6.9314 = 6.9357m^2$$

إيجاد مساحة التوافق الحر:

$$A_o = \left[\left(\frac{LH}{P_t} - 1\right) + C + (P_t - D_o) - (P_t - D_o) \times (t_F N_F)L_w\right]$$

$$= \left[\left(\frac{125.34}{20.89} - 1\right) + 29 + (20.89 - 10.2) - (20.89 - 10.2) \times 0.33 \times 11\right]$$

$$= 116.89\, mm^2 \quad = 0.00011689\, m^2$$

إيجاد القطر الهيدروليكي:

$= 116.89\, mm^2$

$0.00011689m^2$

$$D_h = \frac{4 * A_\circ * L_L}{Ah}$$

$$= \frac{4 * 0.00011689 * 95.04}{60.9357}$$

$$D_h = 0.0064\, m$$

إيجاد السرعات:

$$U_1 = \frac{R_{e^\circ} * \mu}{Dh}$$

$$= \frac{5000 * 1.7894 * 10^{-5}}{0.0064}$$

$$= 14.$$

$$U_2 = \frac{7500 * 1.7894 * 10^{-5}}{0.0064}$$

$$= 21.$$

$$U_3 = \frac{10000 * 1.7894 * 10^{-5}}{0.0064}$$

$$= 28.$$

$$U_4 = \frac{12500 * 1.7894 * 10^{-5}}{0.0064}$$

$$= 35.$$

$$U_5 = \frac{15000 * 1.7894 * 10^{-5}}{0.0064}$$

$$= 42.$$

تجربة (1)

$At\ U = 14$

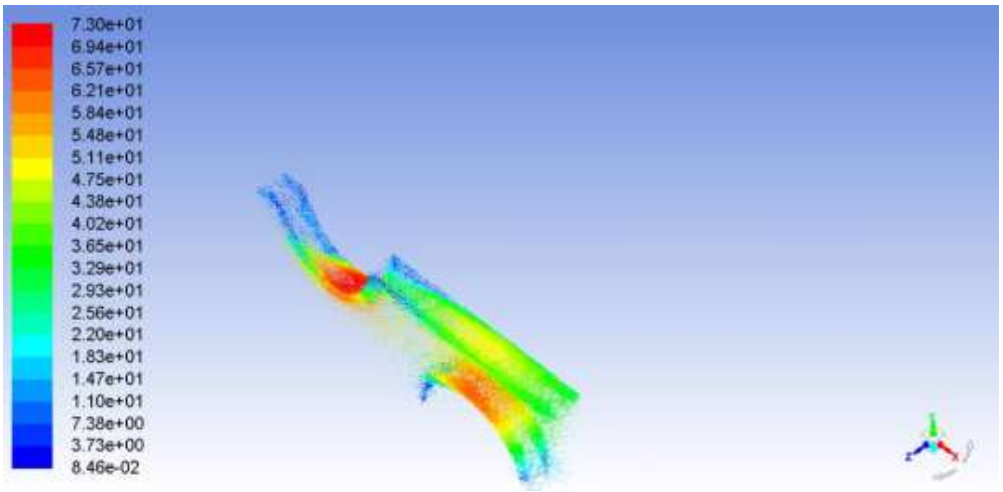
$\Delta P = 176.24$ Pascal

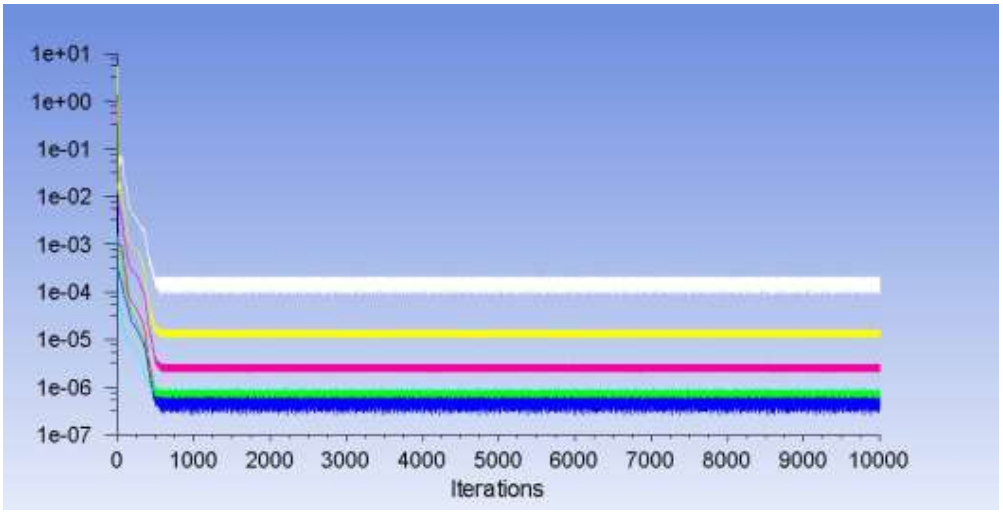
$T_{in} = 300\ K$

$T_{out} = 306.5k$

$\Delta Q = 3.041\ w$

$\Delta T = 303.25\ K$





تجربة (2)

$At\ U = 21$

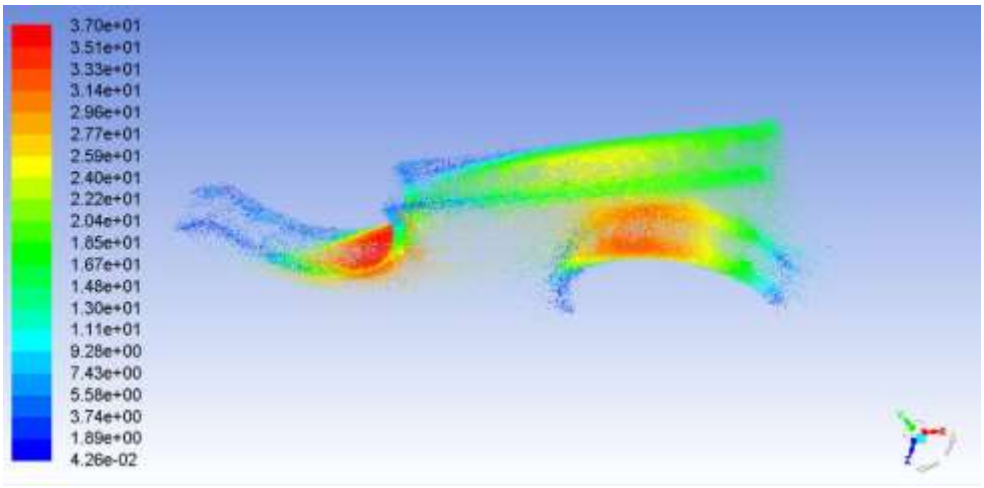
$T_{in} = 300\ K$

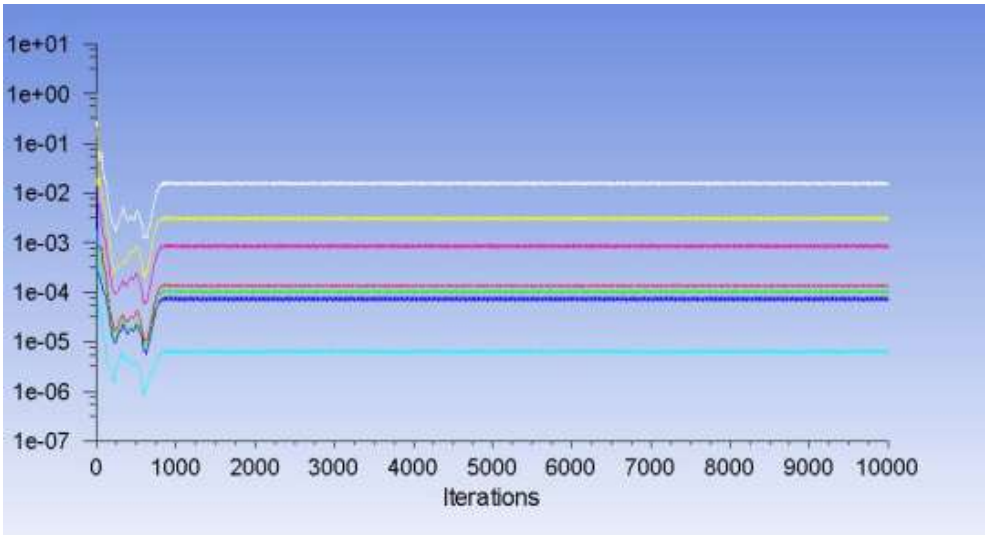
$T_{out} = 305.37k$

$\Delta T = 302.68\ K$

$\Delta Q = 3.763\ w$

$\Delta P = 365.5$ Pascal





تجربة (3)

$At\ U = 28$

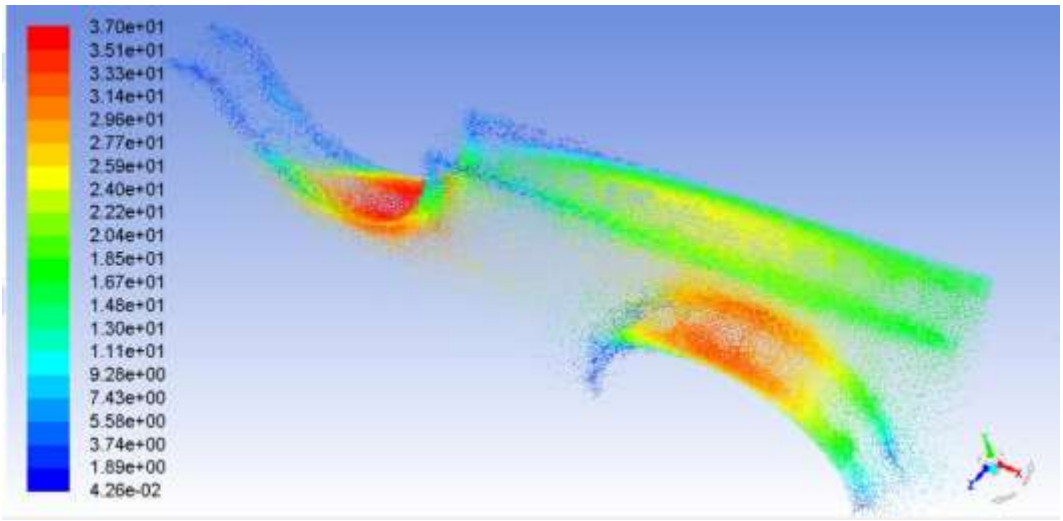
$T_{in} = 300\ K$

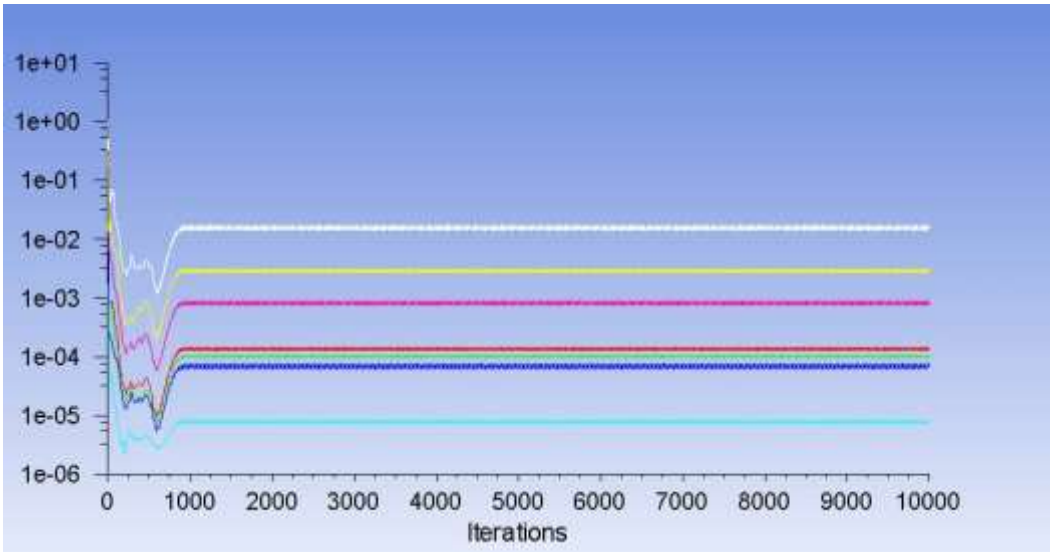
$T_{out} = 304.83k$

$\Delta Q = 4.504\ w$

$\Delta T = 302.416\ K$

$\Delta P = 605.95$ Pascal





تجربة (4)

$At\ U = 35$

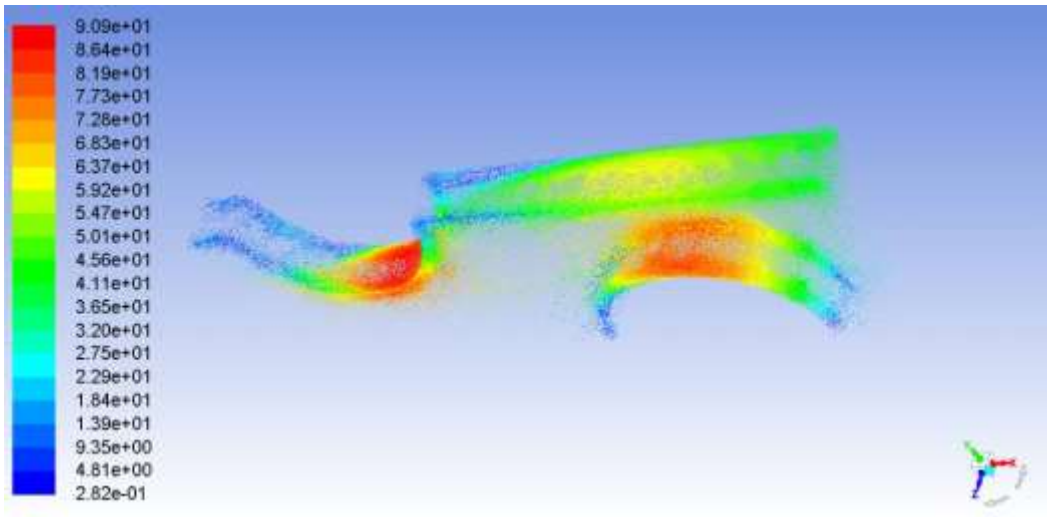
$T_{in} = 300\ K$

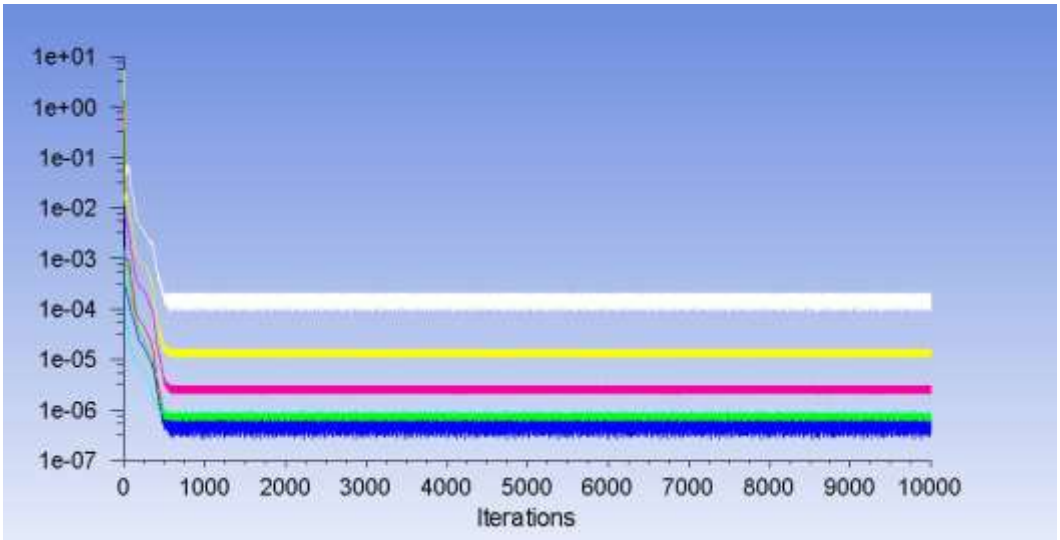
$T_{out} = 303.501k$

$\Delta T = 302.242\ K$

$\Delta Q = 5.265\ w$

$\Delta P = 905.5$ Pascal





تجربة (5)

$At\ U = 42$

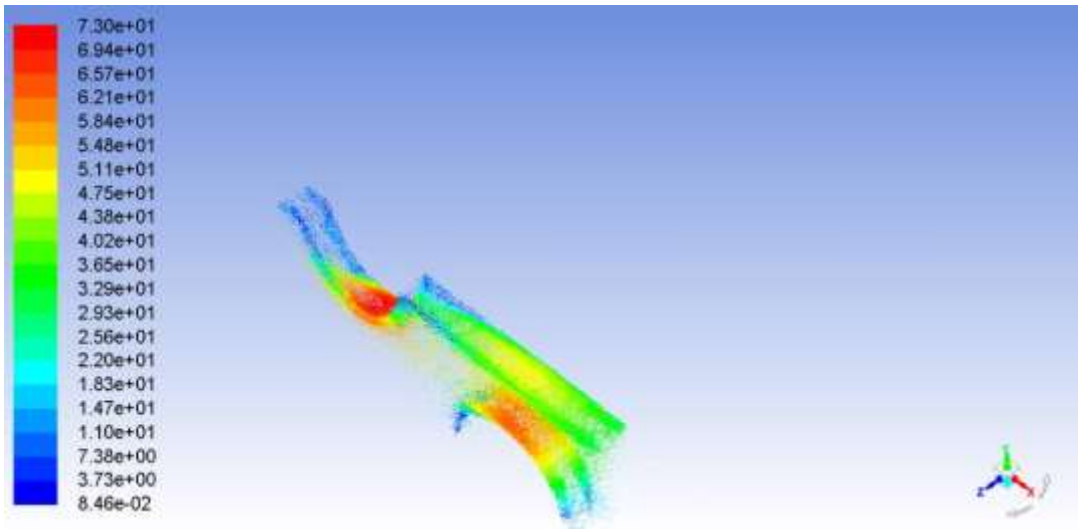
$T_{in} = 300\ K$

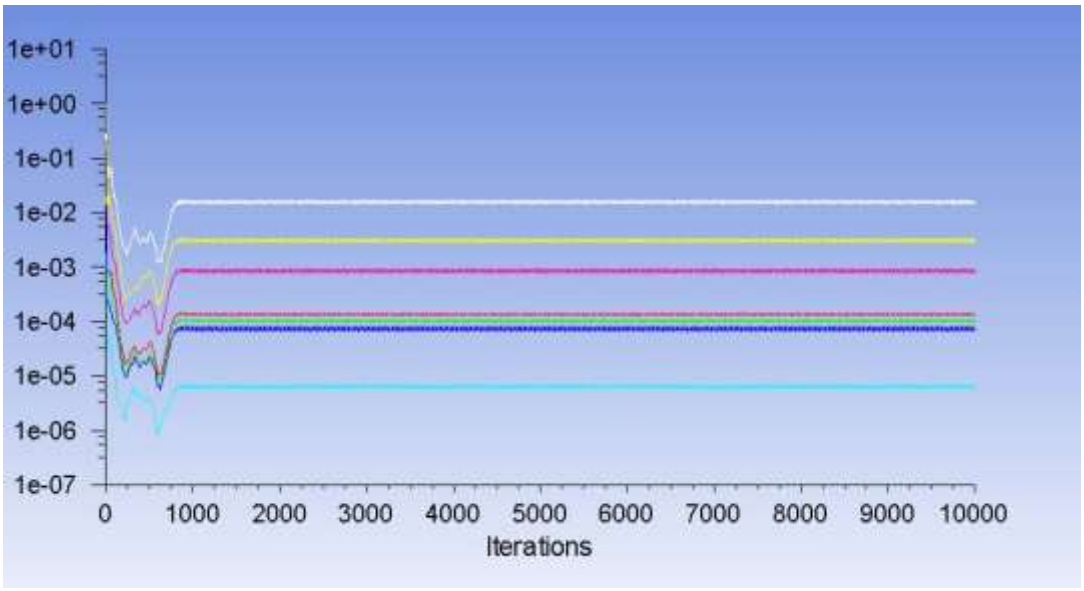
$T_{out} = 302.64k$

$\Delta T = 302.15\ K$

$\Delta Q = 5.941\ w$

$\Delta P = 1200.146$ Pascal





الفرق لدرجة الحرارة عند المدخل والمخرج:

$$\Delta T_{in} = \frac{(T_w - T_{in}) - (T_w - T_{out})}{lin\left(\frac{T_w - T_{in}}{T_w - T_{out}}\right)}$$

$$= 146.7K$$

$$\frac{(450 - 300) - (450 - 306.5)}{lin\left(\frac{450 - 300}{450 - 306.5}\right)}$$

$$= 146.7K$$

$$\Delta T_2 = \frac{(450-300)-(450-305.37)}{lin\left(\frac{450-300}{450-305.37}\right)}$$

$$= 147.3K$$

$$\Delta T_3 = \frac{(450-300)-(450-304.83)}{lin\left(\frac{450-300}{450-304.83}\right)}$$

$$= 147.6K$$

$$\Delta T_4 = \frac{(450-300)-(450-302.64)}{lin\left(\frac{450-300}{450-302.64}\right)}$$

$$= 148.7K$$

معامل انتقال الحرارة:

$$h_1 = \frac{\Delta Q_1}{\Delta T_1} = \frac{3.041}{6.9357 * 146.7}$$

$$= 0.002989 \frac{w}{m^2}.k$$

$$h_2 = \frac{3.763}{6.9357 * 147.3}$$

$$= 0.003689\ w/m^2.k$$

$$h_3 = \frac{4.504}{6.9357 * 147.6}$$

$$= 0.004399\ w/m^2.k$$

$$h_4 = \frac{5.265}{6.9357 * 148.24}$$

$$= 0.00512\ w/m^2.k$$

$$h_5 = \frac{5.9}{6.9357 * 148.7}$$

$$= 0.0058\ w/m^2.k$$

ضرب قيمة h في الشكل كامل لأن القيمة الحالية لـ $\frac{1}{4}$ الشكل:

$$h * 2 * 6 * 10$$

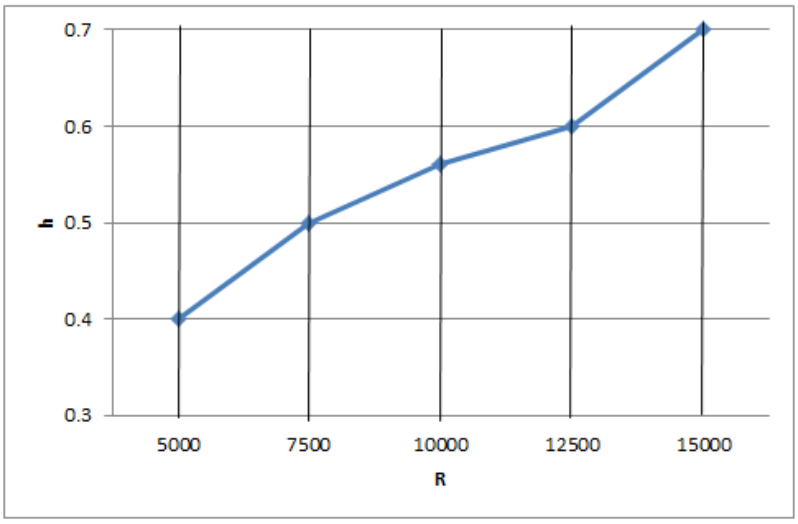
$$h_1 = 0.4\ w/m^2.k$$

$$h_2 = 0.5\ w/m^2.k$$

$$h_3 = 0.56\ w/m^2.k$$

$$h_4 = 0.6\ w/m^2.k$$

$$h_7 = 0.7\ w/m^2.k$$



Heat transforms coefficient variation against Reynolds number

في الشكل (1): نتائج معامل انتقال الحرارة مقابل رقم رينولدز.

اظهرت النتائج زيادة في المتوسط العام لمعامل انتقال الحرارة مع رقم رينولدز

$$N_u = \frac{h_1 * D_n}{K}$$

$$N_{u1} = \frac{0.4 * 0.0064}{0.0242} = 0.106$$

$$N_{u2} = \frac{0.5 * 0.0064}{0.0242} = 0.1322$$

$$N_{u3} = \frac{0.56 * 0.0064}{0.0242} = 0.148$$

$$N_{u4} = \frac{0.6 * 0.0064}{0.0242} = 0.158$$

$$N_{u5} = \frac{0.7 * 0.0064}{0.0242} = 0.185$$

لأخذ الشكل كامل:

$$N_u * 2 * 6 * 10$$

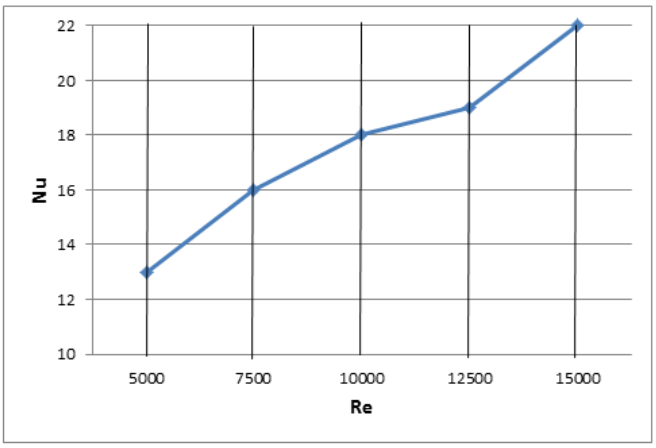
$$N_{u1} = 13.$$

$$N_{u2} = 16.$$

$$N_{u3} = 18.$$

$$N_{u4} = 19.$$

$$N_{u5} = 22.$$



يتم التعبير عن رقم نسلت بدرجة حرارة بدون أبعاد من خلال نقل الحرارة بالحمل الحراري. التناسب بين معامل انتقال الحرارة والقطر الهيدروليكي ورقم نسلت.

كلما زاد رقم رينولد زاد رقم نسلت.

$$F_1 = \frac{\Delta P_1 * Dh}{\frac{1}{2} * p * U^2 * L}$$

$$= \frac{176.24 * 0.0064}{\frac{1}{2} * 1.225 * (14)^2 * 0.003168}$$

$$= 0.3$$

$$F_2 = \frac{36.5 * 0.0064}{\frac{1}{2} * 1.225 * (21)^2 * 0.003168}$$

$$= 0.27$$

$$F_3 = \frac{605.95 * 0.0064}{\frac{1}{2} * 1.225 * (28)^2 * 0.003168}$$

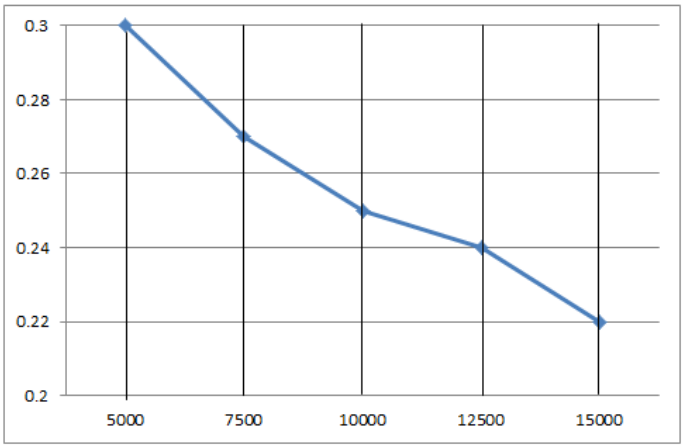
$$= 0.25$$

$$F_4 = \frac{905.5 * 0.0064}{\frac{1}{2} * 1.225 * (35)^2 * 0.003168}$$

$$= 0.24$$

$$F_5 = \frac{1200.146 * 0.0064}{\frac{1}{2} * 1.225 * (42)^2 * 0.003168}$$

$$= 0.22$$



أحد العوامل المهمة هو عامل الاحتكاك لأنه يشير إلى مقدار الطاقة الضرورية لتحقيــق نتــائج نقــل الحرارة.

الشكل يوضح نتائج عامل الاحتكاك مقابل رقم رينولد في المنطقة المضطربة.

أكبر قطر هيدروليكي هو أكبر معامل احتكاك بسبب الاحتكاك.

عامل الاحتكاك يتناسب طردياً مع القطر الهيدروليكي.

الفصل الرابع

تقنية ديناميكا الموائع المحوسبة

الفصل الخامس

5- الخلاصة والتوصيات

5-1 الخلاصة:

في هذا الفصل تم عمل محاكاة لأداء مبادل حراري ذو زعانف وأنبوب في عدد مرات الحل. ولوحظ أن كلما زادت السرعة زاد معامل احتكاك الحرارة بالحمل وعند زيادة رينولد تزيد رقم نسلت وزيـــادة قيمة الاحتكاك تتناقص مع زيادة رقم رينولد.

5-2 التوصيات:

نوصي باستخدام أسلوب ديناميكا الموائع المحوسبة في عمليات التصنيع بحيث يتم عمل نمذجة ومحاكاة في التطبيقات الهندسية قبل الشروع في عملية التصنيع وذلك لمعرفة المشاكل والعيوب التي يمكـــن أن تواجهنا. التجارب المعملية تعتبر مكلفة وبطيئة في نفس الوقت بالرغم من أنها تكون أكثر دقة.

المراجع:

1. T. Barth, R. Herbin, and M. Ohlberger, “Finite volume methods: foundation and analysis”, Encyclopedia of Mechanics, Second Edition, pp. 1–16, 2018.

2. M. Taki Al Kamil, “Heat Transfer: Basic Principles”, Arabic – English Bilingual Text.

3. Wesseling Principles, Computational Fluid Dynamics, 2011.

4. Fluent Tutorial Guide Ansys.