تحليل عددي لإنتقال الحرارة في كوع خلط بإستخدام أسلوب CFD

اعداد الطلاب :

عثمان جبريل عبد الله محمد

علي مصطفى علي ابراهيم

بحث تكميلي لنيل درجة البكلاريوس مرتبة الشرف في الهندسة الميكانيكية

قسم الهندسة الميكانيكية
كلية الهندسة والتقنية
جامعة وادي النيل

فبراير 2016م

تحليل عددي لإنتقال الحرارة في كوع خلط بإستخدام أسلوب CFD

إعداد الطلاب:

عثمان جبريل عبد الله محمد 102027

علي مصطفى علي ابـراهيـم 102029

بحث تكميلي لنيل درجة البكلاريوس مرتبة الشرف في الهندسة الميكانيكية

قسم الهندسة الميكانيكية
كلية الهندسة والتقنية
جامعة وادي النيل

فبراير 2016م

الآية

قال تعالى :

(مُحَمَّدٌ رَسُولُ اللَّهِ وَالَّذِينَ مَعَهُ أَشِدَّاءُ عَلَى الْكُفَّارِ رُحَمَاءُ بَيْنَهُمْ تَرَاهُمْ رُكَّعًا سُجَّدًا يَبْتَغُونَ فَضْلًا مِنَ اللَّهِ وَرِضْوَانًا سِيمَاهُمْ فِي وُجُوهِهِمْ مِنْ أَثَرِ السُّجُودِ ذَلِكَ مَثَلُهُمْ فِي التَّوْرَاةِ وَمَثَلُهُمْ فِي الْإِنْجِيلِ كَزَرْعٍ أَخْرَجَ شَطْأَهُ فَآزَرَهُ فَاسْتَغْلَظَ فَاسْتَوَى عَلَى سُوقِهِ يُعْجِبُ الزُّرَّاعَ لِيَغِيظَ بِهِمُ الْكُفَّارَ وَعَدَ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا وَعَمِلُوا الصَّالِحَاتِ مِنْهُمْ مَغْفِرَةً وَأَجْرًا عَظِيمًا).

الفتح : 29

الإهداء

جهدا أنادي باسمك المنقوش من برد التوهج والجمال حسبي لقائك في عيون الناس في بلادي جنوبا أو شمال سمر الملامح يشبهونك سمرة أو مشية أو قامة لكنهم لا يشبهونك في الخصال .

إلى من أرضعتني الحب والحنان إلى رمز الحب وبلسم الشفاء إلى القلب الناصع بالبياض

والدتي الحبيبة

إلى من جرع الكأس فارغا ليسقيني قطرة حب إلى من كلت أنامله ليقدم لنا لحظة سعادة إلى من حصد الأشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم إلى القلب الكبير

والدي العزيز

إلى القلوب الطاهرة الرقيقة والنفوس البريئة التي عانت وتكبدت المشقة لتضئ لي الدرب إلى رياحين حياتي

اخوتي

ألان تفتح الأشرعة وترفع المرساة لتنطلق السفينة في عرض بحر واسع مظلم هو بحر الحياة وفي هذه الظلمة لا يضيء ألا قنديل الذكريات الإخوة البعيدة إلى الذين أحببتهم وأحبوني

اصدقائي .

إلى من أعيش لكلمتها وأصبو لارتقي لها ...أنقى أسماء في حياتي ...

الباحثون

شكر وتقدير

لابد لنا ونحن نخطو خطواتنا الأخيرة في الحياة الجامعية من وقفة نعود إلى أعوام قضيناها في رحاب الجامعة مع أساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا الكثير باذلين بذالك جهودا كبيرة في بناء جيل الغد لتبعث الأمة من جديد ..

وقبل أن نمضي نقدم أسماء آيات الشكر والامتنان والتقدير والمحبة للذين حملوا أقدس رسالة في الحياة ...إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم والمعرفة ...

إلى جميع أساتذتنا الأفاضل ...

ونخص بالتقدير والشكر :

إلى من علمنا التفاؤل والمضي إلى الأمام إلى من رعانا وحافظ علينا إلى من وقف إلى جانبنا عندما ضللنا الطريق ...

الأستاذ : مصعب الحاج

الذي نقول له بشراك قول رسول الله صلى الله علية وسلم :

" أن الحوت في البحر ،والطير في السماء ،يصلون على معلم الناس الخير "

إلى من زرع التفاؤل في دربنا و قدموا لنا المساعدات والتسهيلات و ألأفكار والمعلومات ،ربما دون أن يشعروا بدورهم بذلك فلهم منا كل الشكر والتقدير.

الباحثون

فهرس المحتويات :

الرقم	الموضوع	رقم الصفحة
	الآية	i
	الإهداء	ii
	الشكر والعرفان	iii
	فهرس المحتويات	iv
	فهرس الأشكال	vii
	فهرس الجداول	ix
	الملخص	x
الباب الأول		
1.1	مقدمة	1
2.1	مقدمة عن الأكواع	2
3.1	أنواع الأكواع	2
4.1	تطبيقات الأكواع	4
5.1	الهدف من البحث	4
الباب الثاني		
1.2	نبذة تاريخية عن ديناميكا الموائع المحوسبة	5
الباب الثالث		
1.3	ديناميكا الموائع المحوسبة (cfd)	8
2.3	تعريفات	8
3.3	إستخدامات نتائج تحليلات (cfd)	9
4.3	إستخدامات cfd	9
5.3	تطبيقات إسلوب cfd	10
6.3	مميزات المحاكاة عن التجارب	11
7.3	الأسباب التي أدت لإستخدام إسلوب (cfd)	11
8.3	الطرق العددية المستخدمة في cfd	12

9.3	المكونات الرئيسية لدورة تصميم إسلوب cfd	12
10.3	كيفية عمل إسلوب cfd	13
11.3	المعادلات الحاكمة لعملية ديناميكا الموائع المحوسبة	14
12.3	عملية DISCRETIZATION	15
13.3	النقاط التي يجب مراعاتها في مشكلة الموائع	15
14.3	خطوات حل المشكلة بإستخدام إسلوب cfd	15
15.3	أنواع التقسيمات (mesh)	16
16.3	الشروط الحدية (Boundary Condition)	17
17.3	طريقة الحل التكرارية	18
18.3	محاكاة التدفق بإستخدام الحاسوب	19
1.18.3	الأشياء التي تعتمد عليها المحاكاة	19
2.18.3	الأشياء التي تعتمد عليها جودة نتائج المحاكاة	19
19.3	الشك والخطأ في إسلوب cfd	20
1.19.3	أنواع الأخطاء	20
2.19.3	التحقق من رموز cfd	21
3.19.3	التحقق من نماذج cfd	21
20.3	عيوب اسلوب cfd	22
الباب الرابع		
1.4	النمذجة والمحاكاة وتحليل النتائج	23
2.4	كوع 90 درجة له مدخل كبير ومدخل صغير	24
1.2.4	الشروط الحدية الإبتدائية	26
2.2.4	زيادة درجة الحرارة	29
3.2.4	زيادة السرعة ودرجة الحرارة	30
3.4	كوع 90 درجة يحتوي علي مدخلين صغيرين	32
1.3.4	الشروط الحدية الإبتدائية	33
2.3.4	زيادة درجة الحرارة	34
3.3.4	زيادة درجة الحرارة والسرعة	35
4.4	كوع حرف (T)	37

1.4.4	الشروط الحدية الإبتدائية	37
2.4.4	زيادة درجة الحرارة	40
3.4.4	زيادة السرعة ودرجة الحرارة	41
الباب الخامس		
1.5	الخلاصة	43
2.5	التوصيات	44
	المراجع	45

فهرس الأشكال

قم الشكل	الشكل	رقم الصفحة
1-1	كوع 45 درجة	2
2-1	كوع 90 درجة	3
3-1	كوع 180 درجة	3
4-1	مثال لتطبيقات الأكواع	4
1-3	أمثلة لتطبيقات cfd	10
2-3	عملية cfd	14
3-3	التقسيمات بإستخدام طريقة العناصر المحددة	17
4.3	الشروط الحدّية للسريان في أنبوب	18
1-4	كوع خلط	24
2-4	الشكل الهندسي	25
3-4	التقسيمات	25
4-4	درجة الحرارة	27
5-4	الضغط	27
6-4	السرعة	28
7-4	درجة الحرارة	29
8-4	درجة الحرارة	30
9-4	الضغط	31
10-4	السرعة	31
11-4	الشكل الهندسي	32
12-4	التقسيمات	32
13-4	درجة الحرارة	33
14-4	الضغط	33

15-4	السرعة	34
16-4	درجة الحرارة	34
17-4	درجة الحرارة	35
18-4	الضغط	36
19-4	السرعة	36
20-4	كوع حرف (T)	37
21-4	الرسم الهندسي	38
22-4	التقسيمات	38
23-4	درجة الحرارة	39
24-4	الضغط	39
25-4	درجة الحرارة	40
26-4	درجة الحرارة	41
27-4	الضغط	41

فهرس الجداول :

1–3	مميزات المحاكاة عن التجارب	11
1–4	خواص الماء عند الظروف الطبيعية	23

الملخص :

أصبحت الديناميكا المحوسبة ذات تأثيرات كبيرة في مجالات العلوم والتكنولوجيا، كما أن الأنظمة المعقدة التي كان يصعب أو يستحيل معالجتها باستخدام الطرق التحليلية، تمت محاكاتها بنجاح بإستخدام الأدوات التي وفرتها الديناميكا الحاسوبية ، في هذا البحث تم القيام بتحليل عددي لإنتقال الحرارة في كوع خلط عن طريق المحاكاة بإستخدام أسلوب cfd ، والحصول علي نتائج المحاكاة في شكل صور ، بحيث يمكن معرفة الخواص الفيزيائية (درجة الحرارة ، الضغط ، السرعة) عند أي نقطة خلال الكوع .

في هذا المشروع تم التطرق الي مقدمة عامة عن الديناميكا المحوسبة ومقدمة عن الأكواع وأنواعها الأكثر إستخداماً وبعض من تطبيقاتها ، كما تناول المشروع نبذة تاريخية عن أسلوب cfd ومقدمة تعريفية عنه ومميزاته وعيوبه وطريقة عمله ، وتطبيقاته العامة ، أيضاً تم القيام بإجراء محاكاة علي كوع خلط بإستخدام برنامج(ansys–fluent) حيث تم ملاحظة وتحليل نتائج المحاكاة عند ظروف محددة وعند التغيير في شكل الكوع .

الباب الأول

المقدمة

الباب الأول

1.1 مقدمة :

الميكانيكا الحاسوبية هي فرع من فروع المعرفة المعنية بإستخدام الطرق الحاسوبية بهدف دراسة الظواهر التي تحكمها مبادئ الميكانيكا ، وقبل ظهور الحوسبة العلمية (والتي تسمي أيضاً بعلم الحوسبة) كطريقة ثالثة بجانب العلوم النظرية والتجريبية ، كانت الميكانيكا الحاسوبية تعتبر جزءاً فرعياً من الميكانيكا التطبيقية ، أما حالياً فهي تعد جزءاً فرعياً من ضمن علم الحوسبة (الحوسبة العلمية) .

تُعتبر الميكانيكا الحاسوبية متعددة التخصصات ، حيث أنها تجمع بين أكثر من فرع من فروع المعرفة، فأركانها الثلاث هى الرياضيات وعلوم الحاسوب والميكانيكا . ويعد كل من ديناميكا الموائع الحسابية والديناميكا الحرارية الحاسوبية والكهرومغناطيسيات الحاسوبية وميكانيكا المواد الصلبة الحاسوبية بعضاً من التخصصات العديدة الموجودة ضمن الميكانيكا الحاسوبية . ومن أقسام الرياضيات الأكثر علاقةً بالميكانيكا الحاسوبية المعادلات التفاضلية الجزئية والجبر الخطي والتحليل العددي، ومن أكثر الطرق العددية المُستخدمة فيها هي طريقة العناصر المحددة والحجوم المحددة والفروق المحددة . في ميكانيكا المواد الصلبة، تُعتبر طُرق العناصر المحددة أكثر إنتشاراً مقارنةً بطُرق الفروق المحددة، بينما في ميكانيكا الموائع والديناميكا الحرارية والكهرمغناطيسيات تكاد تكون تقريباً طُرق الفروق المحدودة أكثر إستخداماً . في حين يُعتبر أسلوب العناصر المحددة بشكلٍ عام أقل انتشاراً، إلا أن لديه مكانة في مجالاتٍ معينة مثل الهندسة الصوتية .

وفيما يتعلق بالحوسبة، تلعب كلّ من برمجة الحاسوب والخوارزميات والحوسبة المتوازية دوراً كبيراً في الميكانيكا الحاسوبية، وتُعتبر لغة فورتران هي لغة البرمجة الأكثر استخداماً في المجتمعات العلمية، بما في ذلك الميكانيكا الحاسوبية . وقد زاد في الأونة الآخيرة إنتشار لغة البرمجة (C^{++}) ، إلا أن

مجتمع الحوسبة العلمية كان بطيئاً في إتخاذ لغة البرمجة (C^{++}) كلغة مشتركة ؛ بسبب طريقتها الطبيعية للغاية في التعبير عن الحوسبات الرياضية بالإضافة الي قدراتها التصويرية المدمجة ، كما أن الماتلاب يستخدم علي نطاق واسع ، خاصةً في التطور السريع للتطبيقات وتحقيق النماذج.

2.1 مقدمة عن الأكواع :

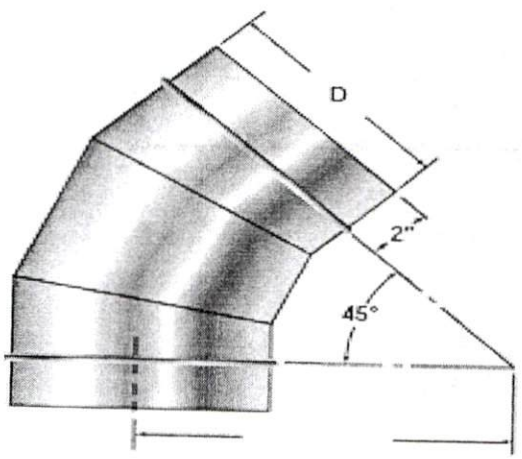
وظيفة الكوع هي تغيير إتجاه تدفق المائع في نظام الأنابيب ، حيث يعمل الكوع علي تغيير إتجاه السريان؛ وهذا يؤدي الي تقليل الضغط على النظام بسبب تأثير الاحتكاك ، وإعادة التسارع .

يدخل المائع عبر مدخل الكوع ويستمر في السريان حتي ينحرف بزاوية نحو مخرج الكوع ، حيث يتم تحديد زاوية الإنحراف من خلال التصميم علي حسب خصائص المائع والسرعة المطلوبة .

3.1 أنواع الأكواع :-

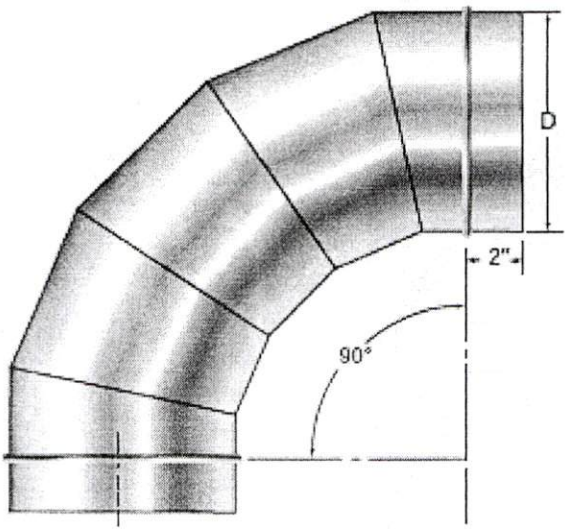
هنالك ثلاثة أنواع من الأكواع علي حسب زاوية التصميم :

1- كوع 45 درجة : وهو الذي ينحرف فيه المائع بزاوية مقدارها 45 درجة .



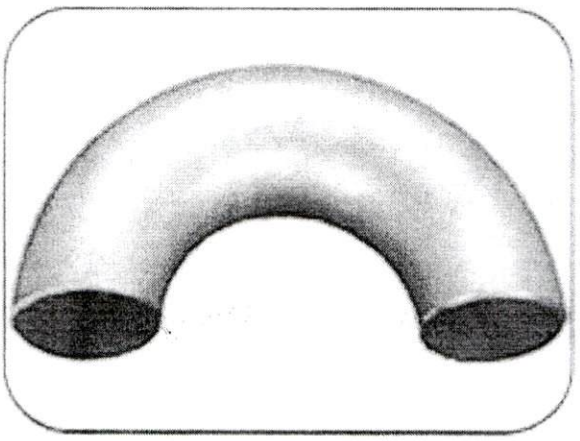
الشكل (1-1) كوع 45 درجة

2- كوع 90 درجة : وهو الذي ينحرف فيه المائع بزاوية مقدارها 90 درجة .



الشكل (1-2) كوع 90 درجة

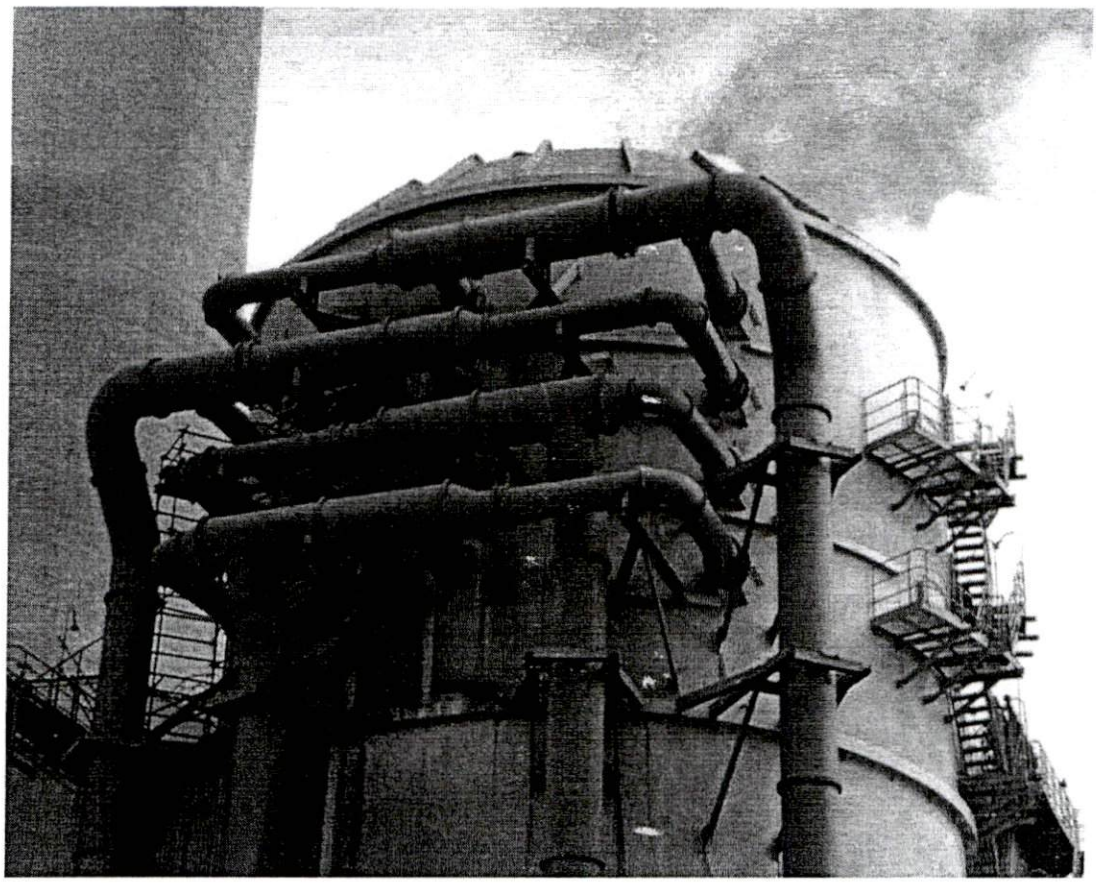
3- كوع 180 درجة : تكون زاوية إنحراف المائع فيه 180 درجة .



الشكل (1-3) كوع 180 درجة

4.1 تطبيقات الأكواع :

للأكواع مجموعة كبيرة من الإستخدامات ، حيث تستخدم لتغيير إتجاه المائع وتقليل الضغط في شبكات المياه العامة وفي نقل البخار من المراجل ؛ كما في محطات القدرة الحرارية والمفاعلات النووية ، كما تستخدم في أنابيب نقل النفط وغيرها من الإستخدامات .



الشكل (1-4) مثال لتطبيقات الأكواع

5.1 الهدف من البحث :

يهدف البحث الي إجراء عملية نمذجة ومحاكاة لإنتقال الحرارة في كوع خلط والحصول علي النتائج في شكل صور بحيث يمكن معرفة الخواص الفيزيائية في أي نقطة خلال الكوع .

الباب الثاني

نبذة تاريخية عن ديناميكا الموائع المحوسبة

الباب الثاني

1.2 نبذة تاريخية عن ديناميكا الموائع المحوسبة :

في العصور القديمة تم إنشاء شبكات المياه (القنوات و الموانى و الحمامات وغيرها) .

أرخميدس (287 – 212 ق.م) بادر في مجالات الميكانيكا الإستاتيكية و الموائع و قياس أحجام الكائنات .

ليوناردو دافينشي (1452– 1519م) قام بمراقبة جميع الظواهر الطبيعية وله مقالات في ميكانيكا الموائع (حركة المياه والدوامات وإرتفاع وإنخفاض الأمواج) .

إسحاق نيوتن (1643– 1727م) له اسهامات عديدة في ميكانيكا الموائع منها، القانون الثاني للديناميكا ومفهوم اللزوجة والإجهاد والإستطاله والعلاقة بين سرعة الموجات و الطول الموجي .

في القرن الثامن عشر و التاسع عشر تم القيام بمحاولات كثيرة في وصف رياضي لحركة السوائل منها :

دانيال بيرنولي (1700– 1782م) قام بإشتقاق معادلة برنولي .

ليوناردو أويلر (1707 – 1783م) إقترح معادلات أويلر التي تصف المحافظة على الزخم في السوائل و حفظ الكتلة .

أوزبورن رينوادز (1842 – 1912م) قام بنشر حوالي 70 بحثا عن مجموعة واسعة من العلوم والهندسة ، منها رقم رينولدز الذي يمثل العلاقة بين قوى القصور الذاتي واللزوجة في السوائل وهو يوضح عملية إنتقال السريان من رقائقي الي مضطرب .

في الجزء الاول من القرن العشرين تم انجاز الكثير من العمل علي نظريات الطبقات الحدية (boundary layers) منها :

لودويج (Ludwig) (1875 – 1953م) : نظرية الطبقة المتاخمة والإختلاط وإنضغاط السريان .

فون كارمان (von karman) (1881 – 1963م) قام بتحليل ما يعرف الآن باسم دوامة الشارع (vortex street) .

جيوفري إنجرام تايلور (Geoffrey Ingram Taylor) (1886 – 1975م) النظرية الاحصائية للإضطراب وتايلور ميكروسكيل (Taylor micro scale) .

أندري نيكولايفيتش كولموجروف (Andrei Nikolayevich kolmogrov) (1903–1987) مقاييس و طيف الطاقة العالمي .

لويس فراي ريتشارد سون (1983– 1933م) (Lewis fry Richardson) في عام 1922 وضع لويس بداية نظام التنبوء بأحوال الطقس .

في عام 1960 ساهم قسم النظريات في لوس أنجلوس في كثير من الطرق العددية التي لا تزال تستخدم حتي اليوم مثل :-

الجسيمات في الخلية (PIC) .

علامة وخلية (MAC) .

نموذج (K–turbulence) .

في عام 1970 قامت مجموعة من كلية امبريال – لندن بتطوير :

رموز السريان المكافئ (genmix) .

رموز Vorticity – stream function.

نموذج من thek – equation التي تستخدم اليوم .

وهنالك شخصيات أخري عديدة مثل لورن دالمبير وسيميون دنيس بواسون وجوزيف لويس لاجرانج وسيمون دي لابلاس لهم اسهامات عديدة في مجال cfd وكل هذا يشكل أساس cfd الحديث .

الباب الثالث

ديناميكا الموائع المحوسبة

Computational fluid dynamic

(cfd)

الباب الثالث

1.3 ديناميكا الموائع المحوسبة (cfd) :

ديناميكا الموائع تدرس تدفق السوائل بإحدى هذه الطرق :

ديناميكا الموائع التجريبية .

ديناميكا الموائع النظرية .

ديناميكا الموائع الحسابية .

2.3 تعريفات :

ديناميكا الموائع المحوسبة أو حركيات الموائع المحوسبة هي إحدي فروع ميكانيكا الموائع التي تستخدم الطرق العددية والخوارزميات لحل المسائل التي تتضمن سريان الموائع ، وتحليل نتائج المحاكاة .

حيث يتم إستخدام الحواسيب لإجراء ملايين العمليات الحسابية اللازمة لمحاكاة التفاعل والتأثير المتبادل بين الموائع والأسطح المختلفة .

ديناميكا الموائع المحوسبة هي علم التنبؤ بتدفق السوائل وإنتقال الحرارة ، والكتلة والظواهر ذات الصلة ؛ من خلال حل المعادلات الرياضية التي تحكم هذه العمليات .

ديناميكا الموائع المحوسبة هي عبارة عن محاكاة لأنظمة السوائل بإستخدام النماذج الهندسية والطرق العددية عن طريق الحاسوب .

(cfd) هو مجال بحوث متعددة الأغراض يجمع بين الفيزياء والرياضيات التطبيقية وعلوم الحاسوب .

3.3 إستخدامات نتائج تحليلات (cfd) :

- دراسة التصاميم الجديدة .
- تطوير المنتجات .
- إكتشاف الأخطاء وإصلاحها .
- حل المشاكل المتعلقة بالتحليل وتصميم النماذج .
- إعادة التصميم .

4.3 إستخدامات cfd :

المحاكاة بإسلوب (cfd) تمكن العلماء والمهندسين من أداء التجارب العددية (أي المحاكاة الحاسوبية) في مختبر تدفق ظاهري ، حيث يمكن :

- مهندسي السيارات من تحسين الخصائص الديناميكية الهوائية .
- المهندسين الكيميائين من تعظيم العائد من معداتهم .
- مهندسي البترول من وضع إستراتجيات أفضل لإستخراج النفط .
- خبراء الإرصاد الجوي من التنبوء بالطقس والتحذير من الكوارث .
- الجراحين لعلاج أمراض الشرايين (ديناميكا الدم الحسابية) .
- خبراء السلامة للحد من المخاطر الناجمة من الإشعاع وغيره .
- المهندسين المعماريين من تصميم بيئات معيشية مريحة وآمنة .

5.3 تطبيقات إسلوب cfd :

بما أن إسلوب cfd له العديد من المزايا فان له العديد من الإستخدامات منها :-

أ- صناعة الطائرات .

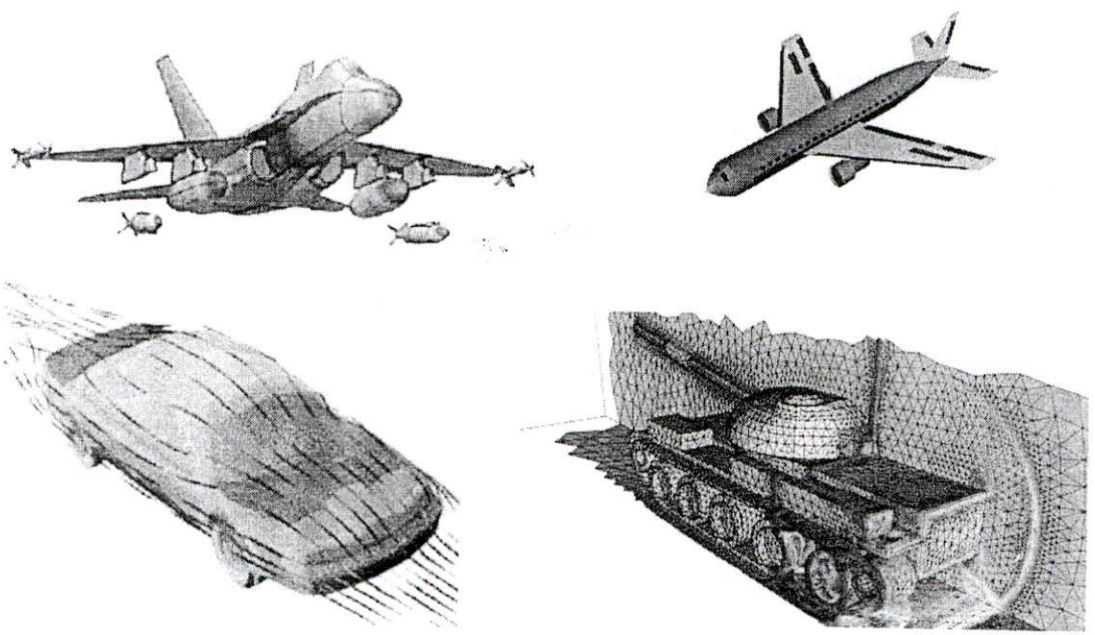
ب- تصميم السيارات .

ج- الطب الحيوي .

د- المعالجة الكيميائية .

هـ- الحرارة و التهوية و تكييف الهواء .

و- الهايدروليك و الطاقة و غيرها.



الشكل (3-1) أمثلة لتطبيقات cfd

6.3 مميزات المحاكاة عن التجارب:

أسلوب cfd يعطي نظرة ثاقبة علي أنماط التدفق التي تعتبر صعبة ومكلفة أو مستحيلة بإستخدام التقنيات التقليدية (التجارب) .

العامل	التجارب	المحاكاة بإستخدام (cfd)
التكلفة	مكلفة	رخيص
الزمن	طويل	قصير
السلامة	بعض الخطورة	آمن
المقاسات	صغيرة أو متوسطة	جميع المقاسات
الإستخدام	مجموعة محدودة من المشاكل وحالات التشغيل	لأي مشكلة وحالات تشغيل واقعية
القياس	بواسطة أجهزة القياس	عن طريق الحاسوب

الجدول(3–1) مميزات المحاكاة عن التجارب

7.3 الأسباب التي أدت لإستخدام أسلوب (cfd) :

- التكلفة العالية لتصميم وعمل النماذج (صعوبة عمل نموذج بالحجم الكامل) .
- المخاطر الناجمة عن التجارب المعملية (خطر الإشعاع – الإنفجار – التلوث) .
- التأثيرات البيئية التي تؤثر علي التجارب (تغيرات الطقس) .
- صعوبة نقل الأدوات والمعدات المستخدمة في التجارب .

عموما ، إسلوب cfd لايحل محل القياسات تماماً لكن المبلغ من التجارب والتكلفة الإجمالية يمكن أن تنخفض بشكل كبير .

8.3 الطرق العددية المستخدمة في cfd :

أ- طريقة العناصر المحددة (Finite element method) :

هي طريقة تحليل عددي لإيجاد الحلول التقريبية للمعادلات التفاضلية الجزئية بالإضافة إلى الحلول التكاملية. يعتمد الحل إما على إلغاء المعادلات التفاضلية الجزئية نهائياً (في الحالات الساكنة) أو تقريب المعادلات التفاضلية الجزئية الي معادلات جبرية والتي يمكن حلها بإستخدام عدة طرق كطريقة أويلر .

هناك العديد من التطبيقات لطريقة العناصر المحددة وأغلبها تتعلق بالهندسة الميكانيكية بشكل أو بآخر، حيث تستخدم هذه الطريقة ضمن عملية تصميم وتطوير المنتجات المختلفة. بعض برامج حساب العناصر المحددة الحديثة تقوم بدراسة الحرارة، المغناطيسية الكهربائية، تدفق السوائل...الخ.

في مجال ميكانيكا السوائل والمنشآت المائية يمكن تحليل جريان السوائل والمنشآت المعرضة إلى ضغوط مائية كبيرة كالغواصات وغيرها باستخدام طريقة العناصر المحددة .

ب- طريقة الحجوم المحددة .

ج- طريقة الفروقات المحددة .

9.3 المكونات الرئيسية لدورة تصميم إسلوب cfd :

- الإنسان : وهو المحلل الذي يذكر المشكلة المراد حلها .
- المعرفة العلمية : نماذج وأساليب أُعربت رياضياً .

• الأكواد الحاسوبية : وهي البرامج التي تجسد المعرفة وتقدم تعليمات مفصلة (الخوارزميات) .

• أجهزة الكمبيوتر : هي التي تؤدي الحسابات الفعلية .

• الكائن البشري : وهو الذي يتفقد ويفسر نتائج المحاكاة .

10.3 كيفية عمل أسلوب cfd :

1- يجب معرفة الخواص الفيزيائية – للمشكلة المراد حلها – عن طريق ميكانيكا الموائع ، ثم وصف هذه البنية في شكل معادلات رياضية .

2- تحويل هذه المعادلات التحليلية الي معادلات عددية يمكن حلها بواسطة الحاسوب .

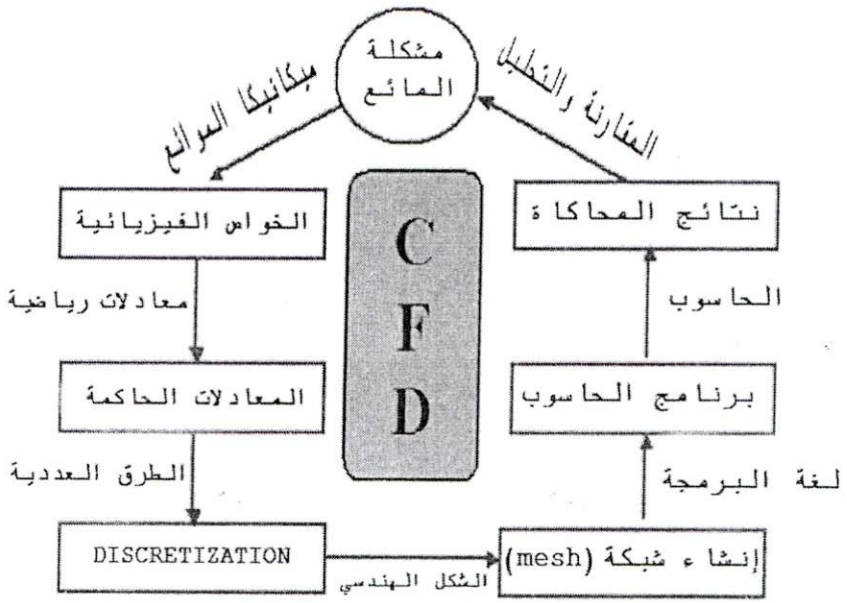
3- تقسيم المشكلة الي أجزاء صغيرة ثم كتابة برنامج لحلها عن طريق لغات البرمجة .

4- تحديد الشروط الحدية وإختيار إسلوب الحل المناسب .

5- إجراء الحل .

6- عملية تحليل النتائج وعمل مقارنة بينها وبين التجارب السابقة والمشاكل الحقيقية ، إذا كانت النتائج غير كافية لحل المشكلة يجب تكرار العملية حتي يتم التحصل علي حل مقنع .

و الشكل (3-2) يوضح كيفية عمل أسلوب cfd.



الشكل (3–2) عملية cfd

11.3 المعادلات الحاكمة لعملية ديناميكا الموائع المحوسبة :

معادلات نافيير ستوكس (Navier – Stokes) هي المعادلات الحاكمة لديناميكا الموائع الحسابية ، وهي تقوم علي مبدأ الحفاظ علي الخصائص الفيزيائية للمائع (الكتلة – الطاقة – الزخم) حيث يتم ملاحظة التغيير في المدخلات والمخرجات لهذه الخصائص .

المعادلات الحاكمة هي معادلات تحليلية يمكن للإنسان فهمها وحلها ولكن اذا أردنا حلها عن طريق الحاسوب يجب تحويلها الي نموذج (discretized) .

12.3 عملية DISCRETIZATION :

عملية discretization : هي عملية تحويل المعادلات التفاضلية الجزئية (PDE) الي مجموعة معادلات جبرية عددية يسهل حلها بواسطة الحاسوب .

13.3 النقاط التي يجب مراعاتها في مشكلة الموائع :

- يجب أن يوخذ بعين الإعتبار الظواهر الفيزيائية .
- الشكل الهندسي والظروف التشغيلية .
- العقبات الداخلية (أسطح خالية – واجهات) .
- نوع التدفق أو السريان (صفائحي – مضطرب – ثابت – متقلب) .
- الهدف من تحليل cfd الذي سيتم تنفيذه .
  - أفضل طريقة تؤدي الي تحسين الأداء .
  - أسهل طريقة تؤدي الي الهدف وتحقق المطلوب .

14.3 خطوات حل المشكلة بإستخدام إسلوب cfd :

1– إختيار نموذج التدفق المناسب والإطار المرجعي .

2– تمييز القوى التي تؤثر علي حركة السوائل .

3– تعريف المجال الحسابي الذي يحل المشكلة .

4– تحديد معادلات حفظ الكتلة والطاقة والزخم .

5- تبسيط المعادلات الحاكمة ، للحد من الجهد الحاسوبي .

• إستخدام المعلومات المتوفرة عن نظام السريان السائد .

• التحقق من التماثلات وإتجاهات السريان (1D / 2D) .

• إهمال الشروط التي لا تؤثر أو لها تأثير بسيط علي النتائج .

• إستخدام المعرفة المسبقة (بيانات القياس ونتائج cfd) .

6- إضافة العلاقات الأساسية وتحديد الشروط الإبتدائية (الحدية) .

7- إنشاء شبكة (التحليل الى خلايا أوعناصر) .

15.3 أنواع التقسيمات (mesh) :

هنالك ثلاثة أنواع من التقسيمات (الشبكات) المستخدمة في cfd :

أ- شبكات منتظمة .

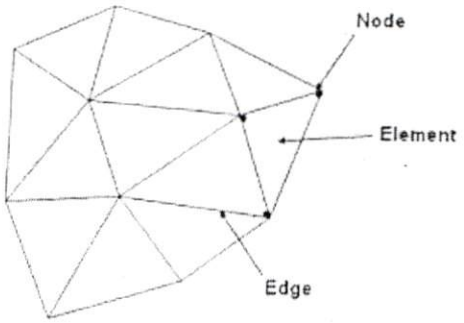
ب- شبكات غير منتظمة .

ج- كتل الشبكات المنتظمة .

إذا كان لدينا نظام معقد يمكننا إستخدام الشبكات الغير منتظمة ، في الهندسة عموماً تستخدم الشبكات غير المنتظمة ؛ بحيث تكون التقسيمات صغيرة جداً في مناطق التدفق الأعلي والعكس .

يعمل cfd علي تقسيم الشكل الي عدة كتل من الشبكات المنتظمة داخل مجال الشبكة الكلية الغير منتظمة .

الشكل (3–3) يوضح التقسيمات بطريقة العناصر المحددة حيث يتم تقسيم الشكل الي مجموعة من العقد والعناصر .



الشكل (3–3) التقسيمات بإستخدام طريقة العناصر المحددة

16.3 الشروط الحدية (Boundary Condition) :

لحل نظام المعادلات نحن بحاجة الي شروط حدية ، وشروط الحدود النموذجية في cfd هي :

1- شروط المدخل .

2- شروط التناظر .

3- شروط الحدود المادية .

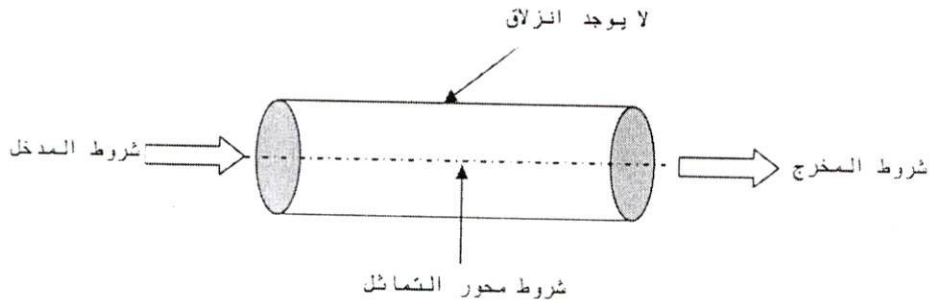
4- ظروف الضغط .

5- شروط المخرج .

مثلا : الشكل التالي يوضح أنبوب ، سريان المائع فيه من اليسار لليمين . حيث يمكننا إستخدام مدخل في الجانب الأيسر ، مما يعني أننا يمكن أن نحدد السرعة يدوياً . في الجانب الأيمن يمكننا إستخدام شروط المخرج الحدية لحفظ كل الخصائص ثابتة .

في جدار الأنبوب ، يمكننا أن نحدد السرعة صفر ، وهذه هي شروط عدم الإنزلاق .

في منتصف الأنبوب يمكن إستخدام شروط التناظر .



الشكل (3–4) الشروط الحديّة للسريان في أنبوب

17.3 طريقة الحل التكرارية :

المعادلات الجبرية الغير خطية يجب أن تحل بشكل تكراري .

التكرار الخارجي: يتم تحديث معاملات كل حل علي حدى بإستخدام قيم من التكرار السابق وذلك للآتي:-

- التخلص من القيم الغير خطية على طريقة نيوتن .

- حل المعادلات الحاكمة بطريقة منفصلة .

التكرار الداخلي : التسلسل الناتج من المشاكل الثانوية الخطية عادة يتم حله عن طريق إسلوب التكرار (التدرجات المتقاربة – شبكات متعددة) لأن المعالجة المباشرة(جاوس للحذف) باهظة التكاليف .

معايير التقارب : هي ضرورية للتحقق من دقة الحل النسبي ؛ حيث يكون الحل أكثر دقة كلما إقترب الحل العددي من الحل التحليلي .

18.3 محاكاة التدفق بإستخدام الحاسوب:

1.18.3 الأشياء التي تعتمد عليها المحاكاة:

- إختيار الخوارزميات و هياكل البيانات العددية .
- أدوات الجبر الخطي و معايير الحل التكراري .
- جودة التقسيمات و حجمها .
- الوقت لكل الخطوة و معدلات التكرار الخارجي .
- لغات البرمجة المستخدمة (أكثر رموز cfd مكتوبة في لغة فورتران) .

2.18.3 الأشياء التي تعتمد عليها جودة نتائج المحاكاة:

- النموذج الرياضي و الافتراضات .
- نوع التقارب و الإستقرار للنظام العددي .
- الشبكة , وقت الخطوة , مؤشرات الخطأ , و وقف المعايير .
- يتم إجراء تحليل نتائج العمل من نتائج المحاكاة و ذلك لإستخراج النتائج المطلوبة .

19.3 الشك والخطأ في إسلوب cfd :

درجة الوثوق في نتائج محاكاة cfd تعتمد علي الأثر التراكمي لأخطاء مختلفة .

يتم تعريف الشك (عدم اليقين) بأنه نقص محتمل بسبب عدم المعرفة (مثل اضطراب النماذج) ، بينما تعرف الأخطاء بأنها نقص المعرفة لأسباب أخري .

1.19.3 أنواع الأخطاء :

1- أخطاء معروفة وهي الأخطاء التي تم التعرف عليها وطلب تقليلها أو التخفيف منها أو حتي إزالتها ومنها :

- أخطاء النمذجة بسبب عدم اليقين أو التبسيط .
- أخطاء عملية (discretization) وهي الأخطاء في تحويل المعادلات التفاضلية الي معادلات جبرية.
- أخطاء التقارب التكراري الذي يعتمد علي معايير التوقف .
- أخطاء التكرارات بسبب العمليات الحسابية الكثيرة .

2- أخطاء غير معروفة وهي الأخطاء التي لايمكن التعرف عليها وليس لها إجراءات قياسية لإكتشافها ويمكن أن تبقي ثابتة وتسبب الكثير من الأضرار ومنها :

- أخطاء في برمجة الحاسوب (خلل في الأكواد وأخطاء منطقية) .
- أخطاء في الإستخدام (قيم أو معلومات خاطئة – أخطاء في الشروط الحدية)

3- الأخطاء الموضعية وهي تشير الي أخطاء الحل عند نقطة معينة في الشبكة أو الخلية .

4- الأخطاء الشاملة وهي خطاء في نظام الحل بأكمله ، تتسبب الأخطاء الموضعية في الأخطاء الشاملة ويمكن أن تنتقل الي جميع أنحاء الشبكة .

الوعي بمصادر الأخطاء هذه والقدرة علي السيطرة أو التقليل منها هي من الشروط الهامة لتطوير وإستخدام cfd .

2.19.3 التحقق من رموز cfd :

يهدف الي البحث عن أخطاء في تنفيذ النماذج ويتم عن طريق :

- دراسة برمجة الكمبيوتر عن طريق الفحص المرئي لشفرة المصدر وإختبار البرامج الفرعية الأساسية بشكل فردي .
- دراسة التقارب التكراري عن طريق رصد النتائج والتغيرات النسبية والتحقق ما إذا كان يحقق السماحية المطلوبة .
- دراسة الإتساق (التماسك) ومعرفة ما إذا كان المبادئ ذات الصلة محققة .
- فحص الشبكات والتقسيمات وأخطاء تحويل المعادلات .

3.19.3 التحقق من نماذج cfd :

يهدف الي معرفة ما إذا كان النموذج كافي لأغراض عملية ، ويتم عن طريق :

- التحقق من أن الرموز تؤدي الي الحلول العددية الصحيحة .
- مقارنة النتائج مع البيانات التجريبية المتاحة (مع جعل سماحية لأخطاء القياس) لمعرفة ما إذا كان يتم تمثيل الواقع بما فيه الكفاية .

الهدف من التحقق بصورة عامة هو التأكد من أن رموز cfd تعطي نتائج معقولة ومنطقية لمشكلة التدفق.

20.3 عيوب إسلوب cfd :

نتائج محاكاة cfd قد تكون غير دقيقة لعدة أسباب منها :

1- البيانات المدخلة قد تكون غير صحيحة .

2- قد يكون النموذج الرياضي غير كاف لحل المشكلة المطروحة .

3- دقة النتائج تعتمد علي إمكانيات الحاسوب المستخدم .

الباب الرابع

النمذجة والمحاكاة وتحليل النتائج

الباب الرابع

1.4 النمذجة والمحاكاة وتحليل النتائج :

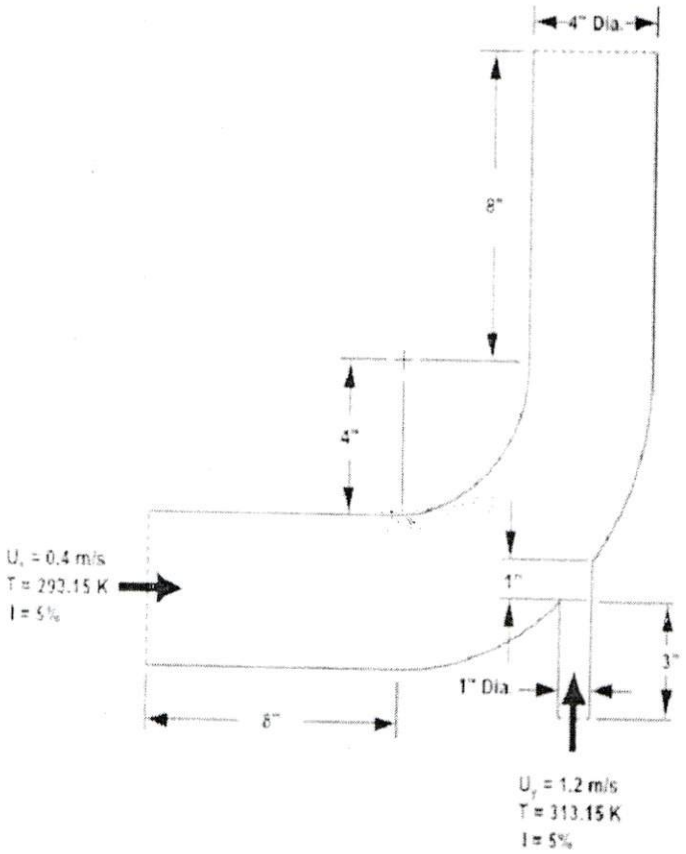
في هذا الباب تم القيام بمحاكاة لإنتقال الحرارة في كوع خلط ، حيث يحتوي الكوع علي مدخلين ؛ أحدهما يحمل مائع ساخن بدرجة حرارة 313°k والآخر مائع بارد 293° k وملاحظة التغيرات عند مخرج الخليط ، وعند التغير في الشروط الحديّة والتغير في الأشكال .

المائع المستخدم هو الماء ، والجدول(4-1) يوضح الخواص الفيزيائية :

الخاصية	القيمة
الكثافة	1000 kg/m^3
الحرارة النوعية	4215 j/kg.k
الموصلية الحرارية	0.677 w/m.k
اللزوجة	0.0008 kg/m.s

الجدول (4-1) خواص الماء عند الظروف الطبيعية

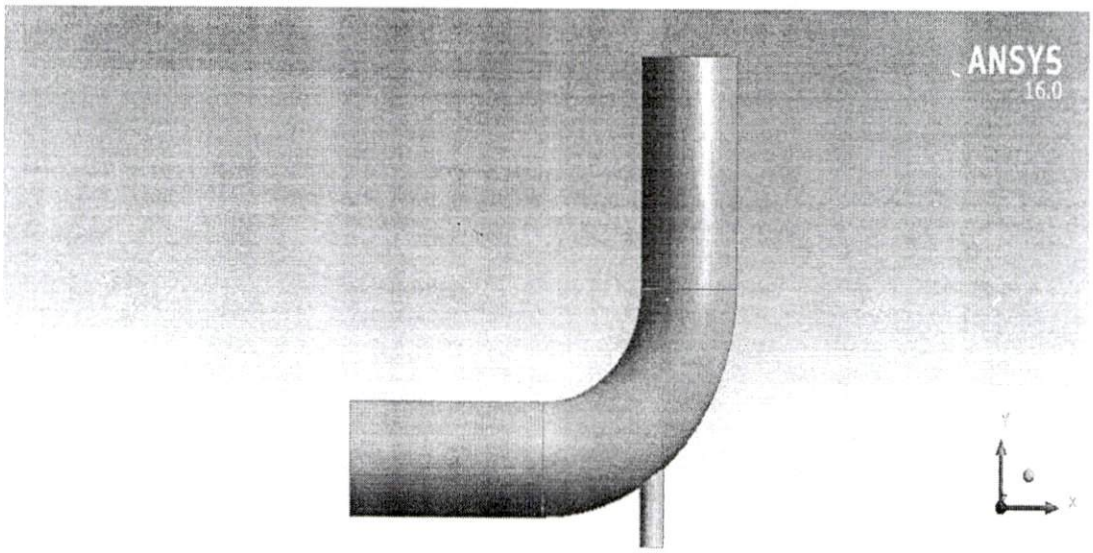
2.4 كوع 90 درجة له مدخل كبير ومدخل صغير :



الشكل (4–1) كوع خلط

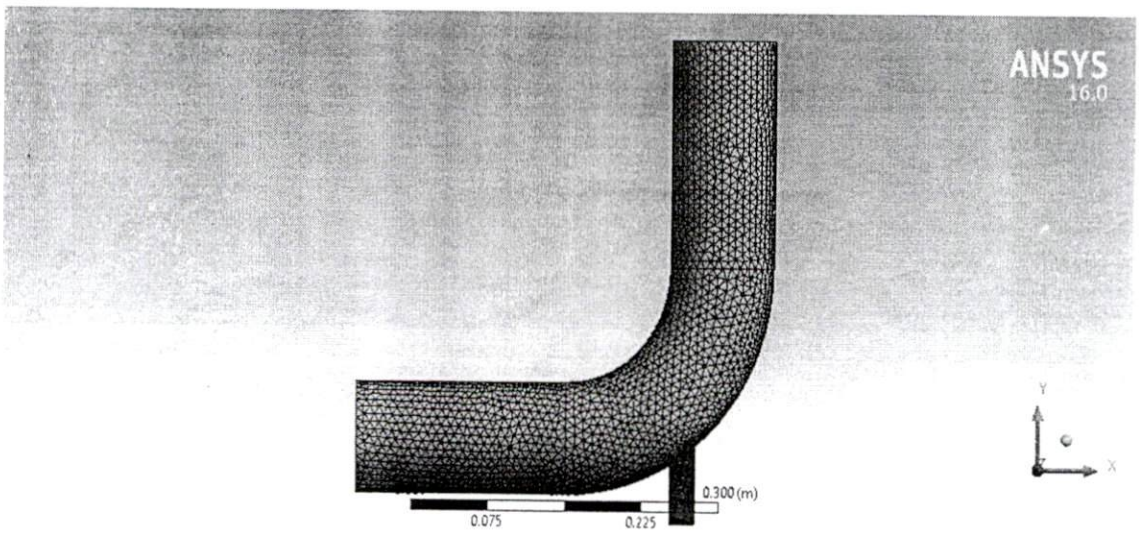
الشكل (4–1) يوضح كوع خلط له مدخل كبير ومدخل صغير ، حيث ينساب الماء البارد عبر المدخل الكبير في اليسار والماء الساخن عبر المدخل الصغير من أسفل ويكون مخرج الخليط في الأعلي .

لإجراء عملية المحاكاة بإستخدام برنامج (ANSYS) أولاً علينا رسم الشكل الهندسي كما في الشكل (2–4) .



الشكل (4–2) الشكل الهندسي

بعد رسم الشكل الهندسي ننتقل الي مرحلة التقسيمات (mesh) وفيها يتم تحديد المداخل والمخارج وتقسيم الشكل الي أقسام صغيرة ، كما يوضح الشكل (4–3) .



الشكل (4–3) التقسيمات

حيث تم تقسيم الشكل الي 19739 عقدة و 57907 عنصر . (نلاحظ التقسيمات صغيرة جدا في المخل الصغير لأن معدل السريان كبير) .

بعد ذلك ننتقل الي إدخال الشروط الحدية وإختيار طريقة الحل المناسبة وهي ما تعرف بمرحلة (setup)

1.2.4 الشروط الحدية الإبتدائية :

أ– شروط المدخل الكبير :

السرعة $(U_x) = 0.4\ m/s$

درجة الحرارة $(T) = 293.15^{\circ}\ k$

نسبة كثافة الإضطراب $(I) = 5\%$

ب – شروط المدخل الصغير :

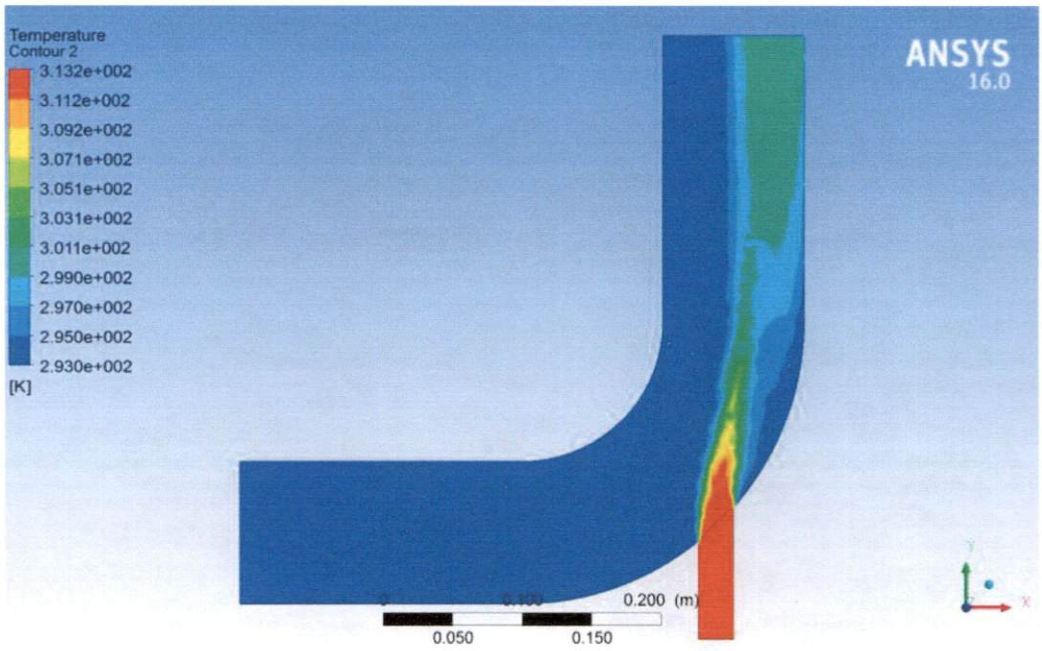
السرعة $(U_y) = 1.2\ m/s$

درجة الحرارة $(T) = 313.15^{\circ}\ k$

نسبة كثافة الإضطراب $(I) = 5\%$

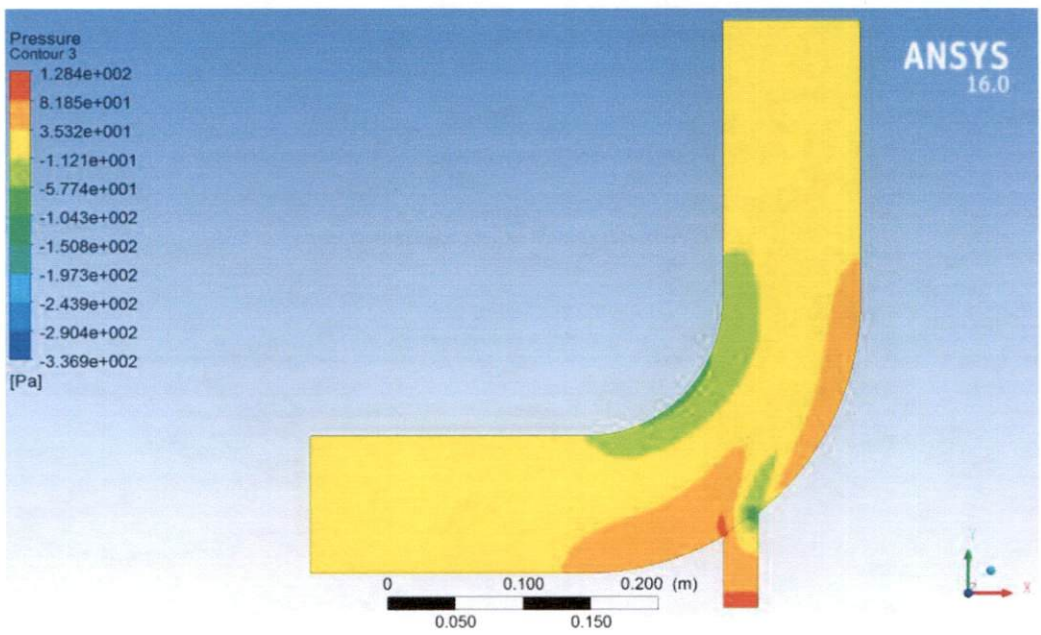
بعد إدخال الشروط الحدية يتم إختيار طريقة الحل ، و طريقة الحل المستخدمة هنا هي (Green–Gauss Node Based) .

بعدإجراء الحل تم التوصل الي النتائج الموضحة في الاشكال التالية :



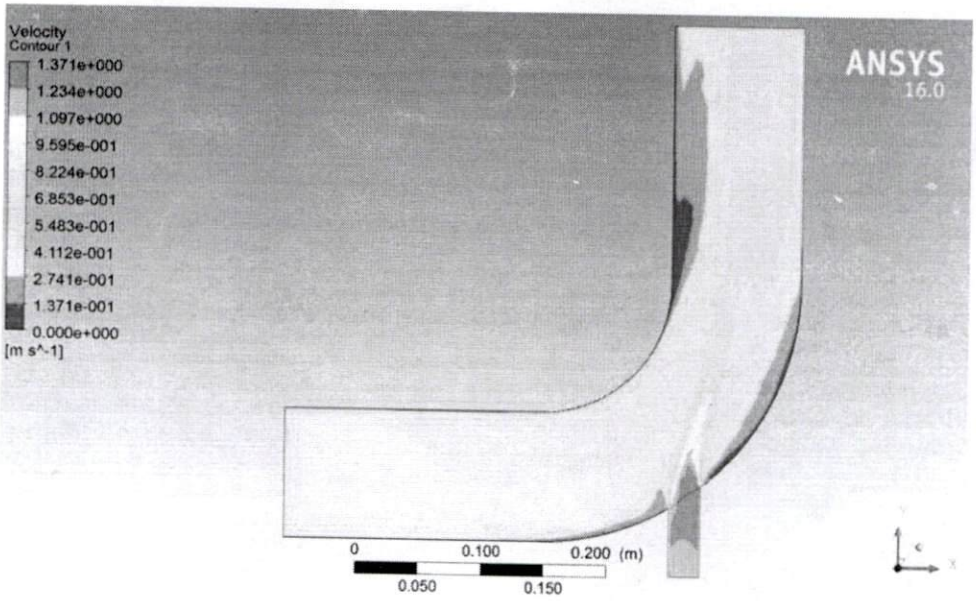
الشكل (4–4) درجة الحرارة

من خلال تدرج الألوان نلاحظ أن أعلي قيمة لدرجة الحرارة كانت في المدخل الصغير وموضحة باللون الأحمر وأدني درجة حرارة في المدخل الكبير باللون الأزرق ، في منطقة الخليط عند المخرج كانت درجة الحرارة 295.85° k .



الشكل (4–5) الضغط

الشكل(4–5) يوضح الضغط ، حيث يمكن ملاحظة أعلي ضغط عند المدخل الصغير وفي المنطقة قبل المدخل الصغير وبعده . كما نلاحظ إنخفاض نسبي للضغط في المنطقة عند منحنى الكوع والمقابلة للمدخل الصغير .

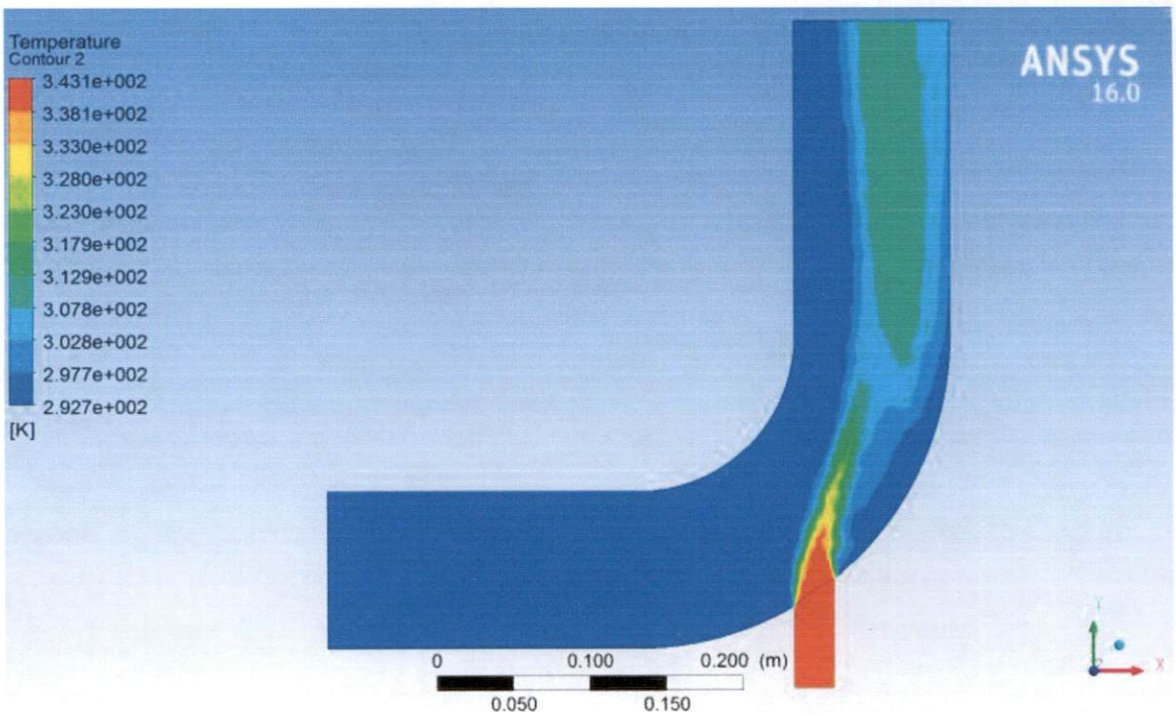


الشكل (4–6) السرعة

الشكل(4–6) يوضح السرعة ، حيث نلاحظ السرعة أعلي سرعة عند المدخل الصغير ، ونلاحظ إنخفاض في السرعة عند جدار الكوع في المنطقة قبل وبعد المدخل الصغير ، كما نلاحظ إنخفاض في السرعة عند الجدار العلوي ناحية اليسار .

2.2.4 زيادة درجة الحرارة :

عند زيادة درجة حرارة المدخل الصغير من (313.15° k) الي (343°k) نتحصل علي النتائج التالية :



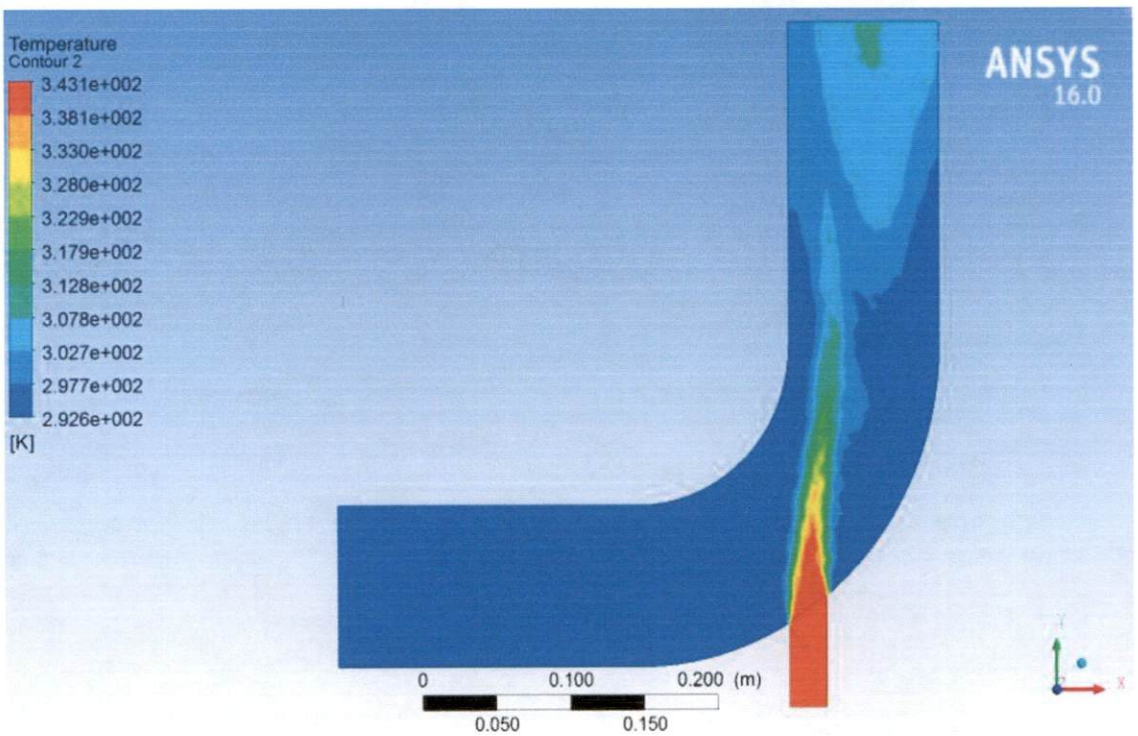
الشكل (4–7) درجة الحرارة

الشكل يوضح تدرج درجة الحرارة خلال الكوع ، الزيادة في درجة حرارة المدخل الصغير تودي الي زيادة درجة حرارة الماء عند منطقة الخليط في المخرج ، حيث أصحبت درجة حرارة المخرج هي 299.9°k .

ولا يوجد تغير في السرعة والضغط .

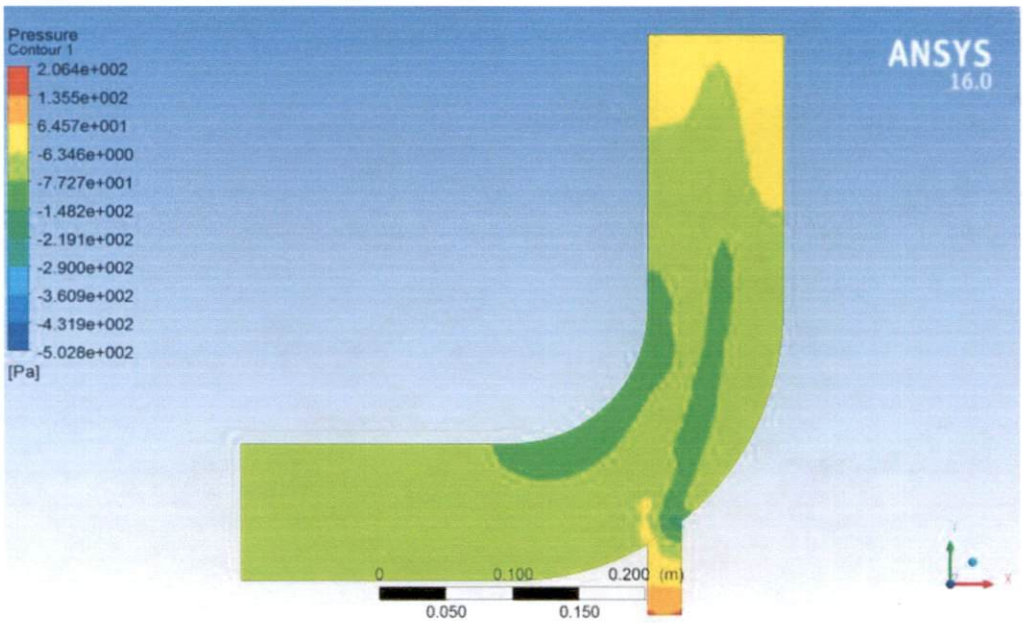
3.2.4 زيادة السرعة ودرجة الحرارة :

عند زيادة درجة الحرارة الي 343° k وزيادة سرعة المدخل الصغير من 1.2 m/s الي 2 m/s تم التحصل علي النتائج التالية :



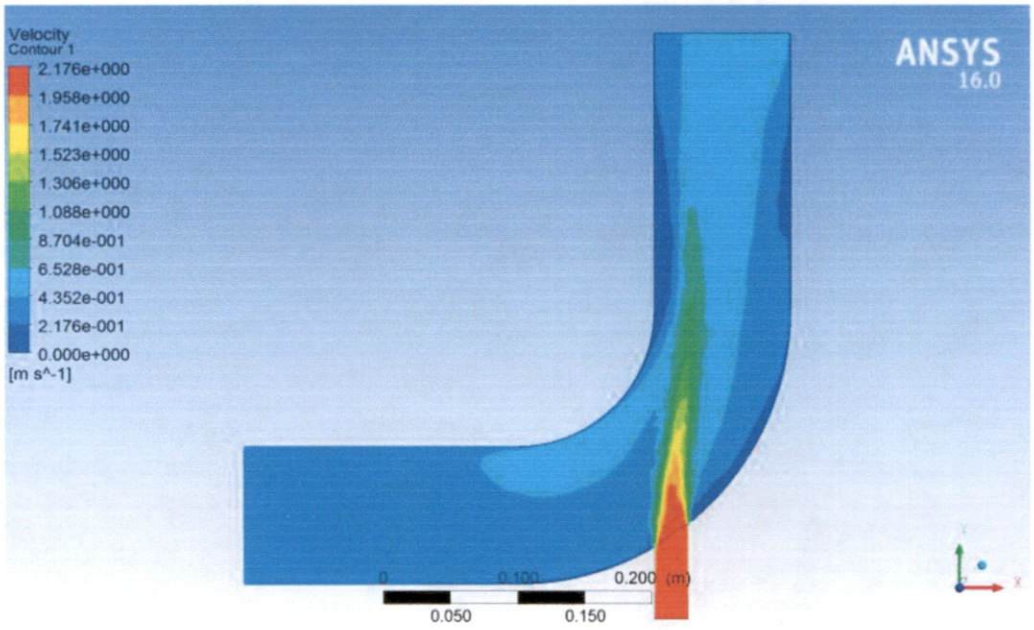
الشكل (4–8) درجة الحرارة

الشكل (4–8) يوضح تدرج درجة الحرارة خلال الكوع ، حيث نلاحظ أن هنالك زيادة في إنتقال الحرارة من المدخل الساخن الي الماء البارد حتي أصبحت درجة الحرارة عند المخرج 304.4° k .



الشكل (4–9) الضغط

الشكل (4–9) يوضح تغيير الضغط علي الكوع ، حيث نلاحظ إنخفاض في الضغط عند زيادة السرعة .

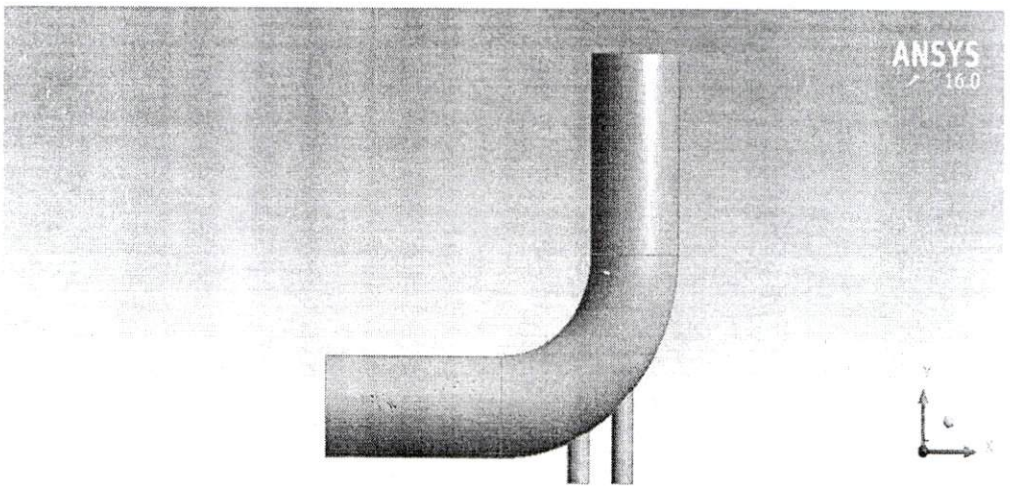


الشكل (4–10) السرعة

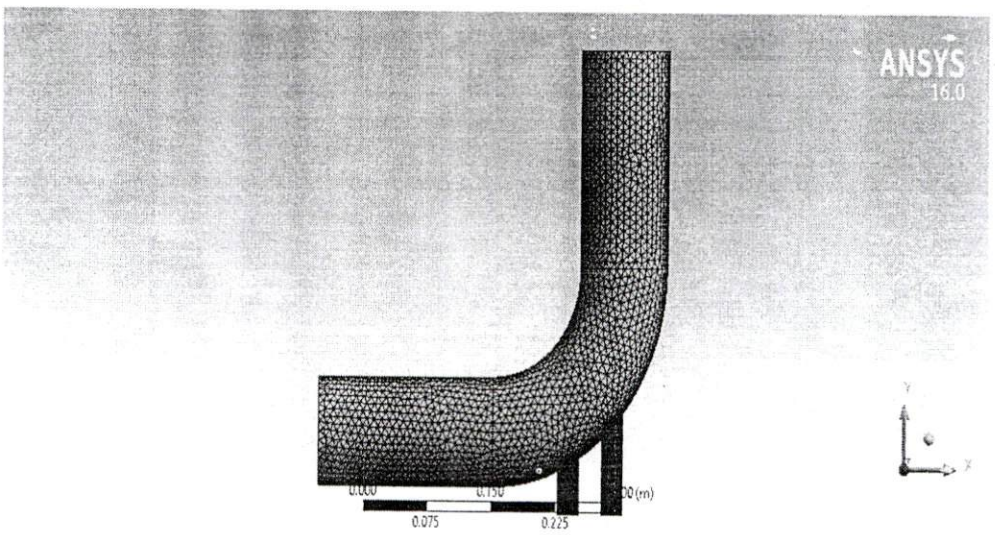
الشكل السابق يوضح السرعة ، ونلاحظ زيادة السرعة عند المدخل الصغير وبالتالي زيادة السرعة عند المخرج .

3.4 كوع 90 درجة يحتوي علي مدخلين صغيرين :

عند إضافة مدخل صغير آخر بحيث يصبح الكوع يحتوي علي مدخلين صغيرين للماء الساخن ومدخل كبير للماء البارد كما في الشكل التالي :



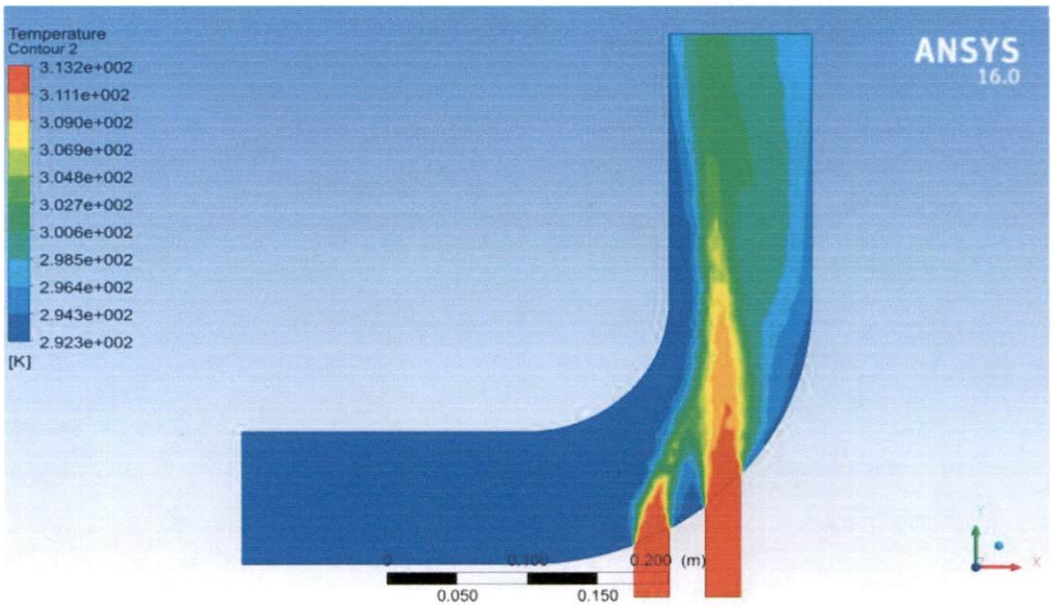
الشكل (4–11) الشكل الهندسي



الشكل (4–12) التقسيمات

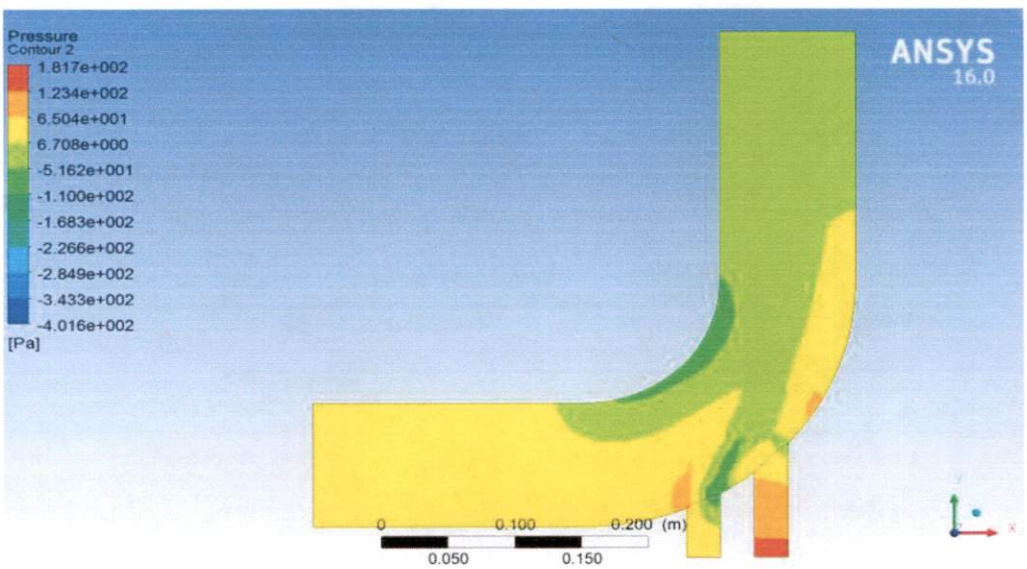
الشكل (4–12) يوضح عملية التقسيم حيث تم تقسيم الشكل الي 25854 عقدة و 75247 عنصر .

1.3.4 الشروط الحدية الإبتدائية :



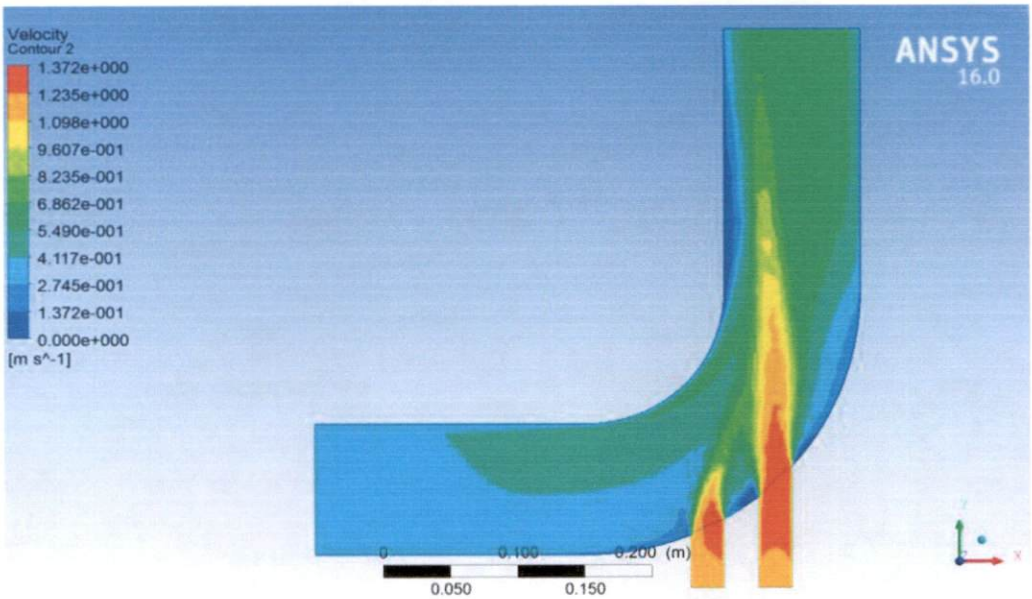
الشكل (4–13) درجة الحرارة

الشكل(4–13) يوضح تدرجات درجة الحرارة حيث نجد أن أعلي قيمة لدرجة الحرارة في المداخل الصغيرة هي 313.15° k ، وأقل قيمة لدرجة الحرارة عند المدخل الكبير هي 293.15° k ، وعند المخرج تساوي 298.18° k .



الشكل (4–14) الضغط

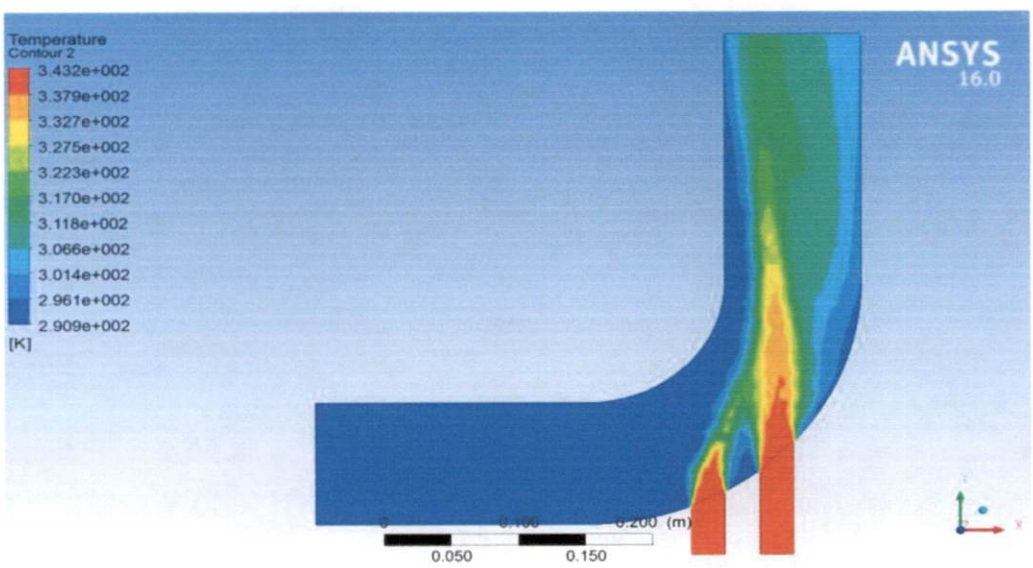
الشكل(4–14) يوضح الضغط علي الكوع ، نلاحظ إرتفاع الضغط عند المدخل الصغير الأيمن و عند المدخل الكبير ، كما نلاحظ إنخفاض الضغط في منطقة إنحناء الكوع وعند المخرج .



الشكل (4–15) السرعة

الشكل (4–15) يوضح السرعة داخل الكوع ومن خلال الألوان يمكن معرفة السرعة في أي نقطة .

2.3.4 زيادة درجة الحرارة:



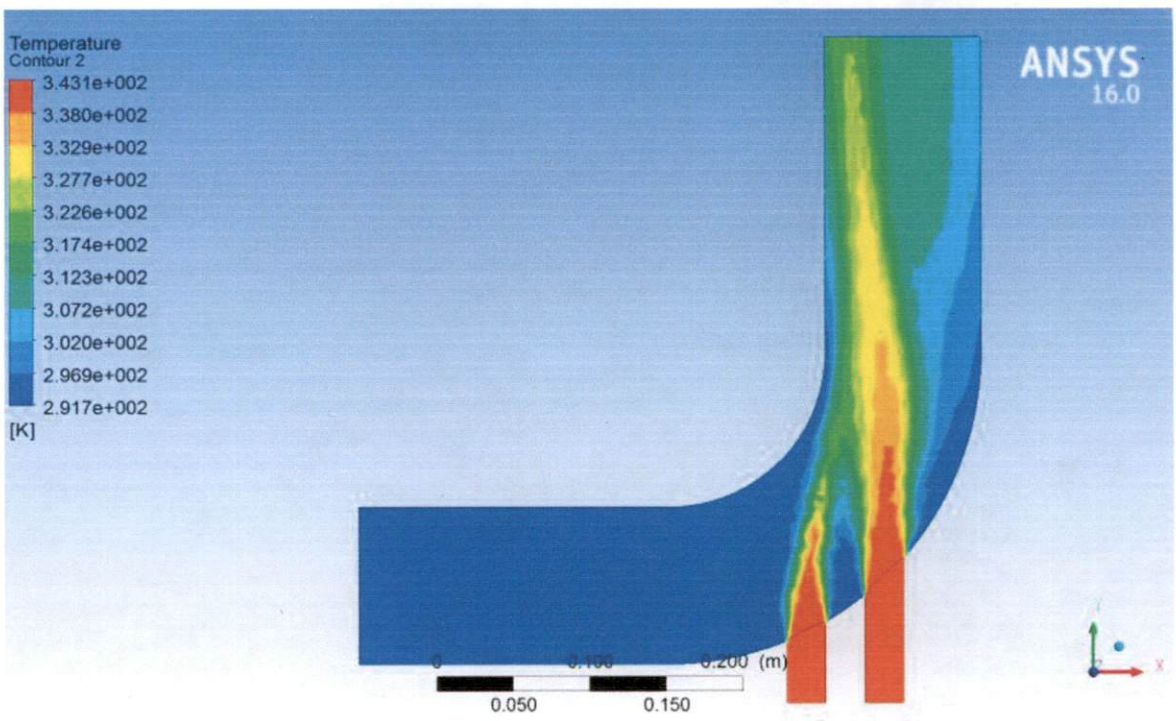
الشكل (4–16) درجة الحرارة

في الشكل (4–16) تم زيادة درجة حرارة الماء في المداخل الصغيرة من 313.15° k الي 343° k .

نلاحظ زيادة درجة الحرارة في المداخل الصغيرة تؤدي الي زيادة درجة الحرارة في المخرج حيث أصبحت درجة حرارة المخرج تساوي 305.7° k . ولايوجد تغير في السرعة والضغط .

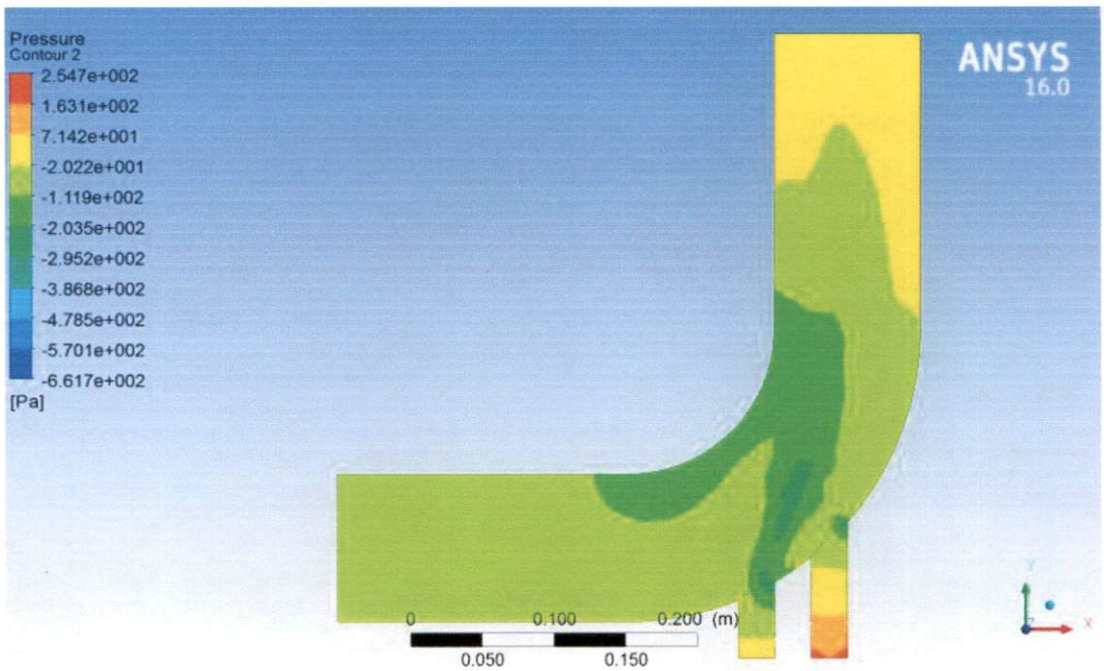
3.3.4 زيادة درجة الحرارة والسرعة :

عند زيادة درجة الحرارة الي 343° k والسرعة الي 2 m/s في المداخل الصغيرة تم التحصل علي النتائج التالية :



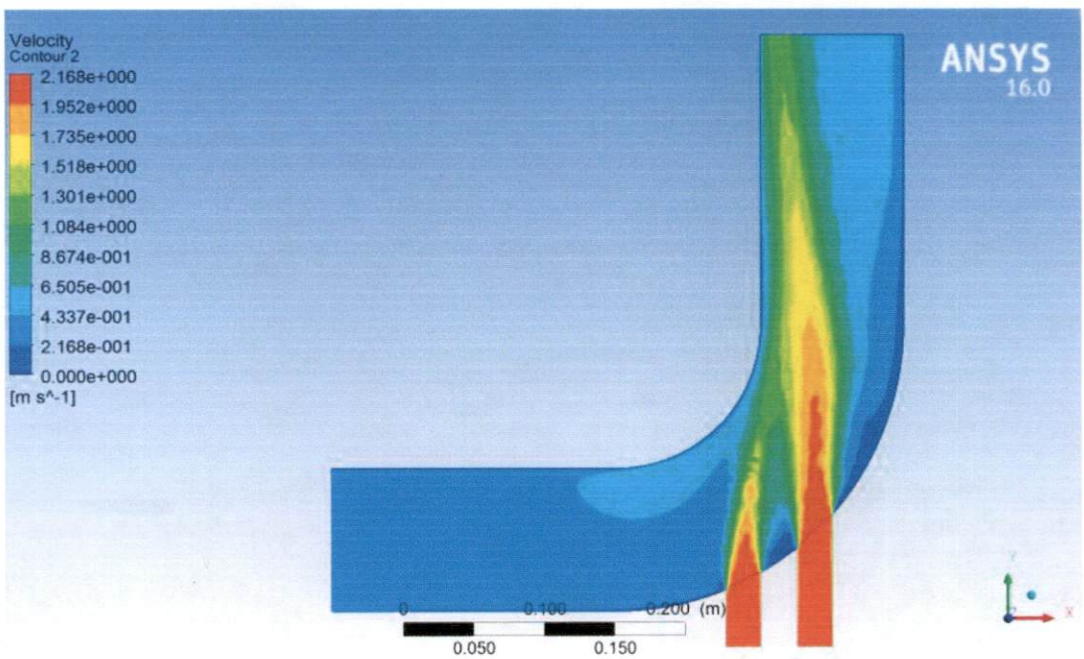
الشكل (4–17) درجة الحرارة

نلاحظ أن زيادة درجة الحرارة والسرعة في المداخل الصغيرة يؤدي الي زيادة درجة الحرارة ناحية مخرج الكوع حيث أصبحت درجة الحرارة في المخرج 310.5° k .



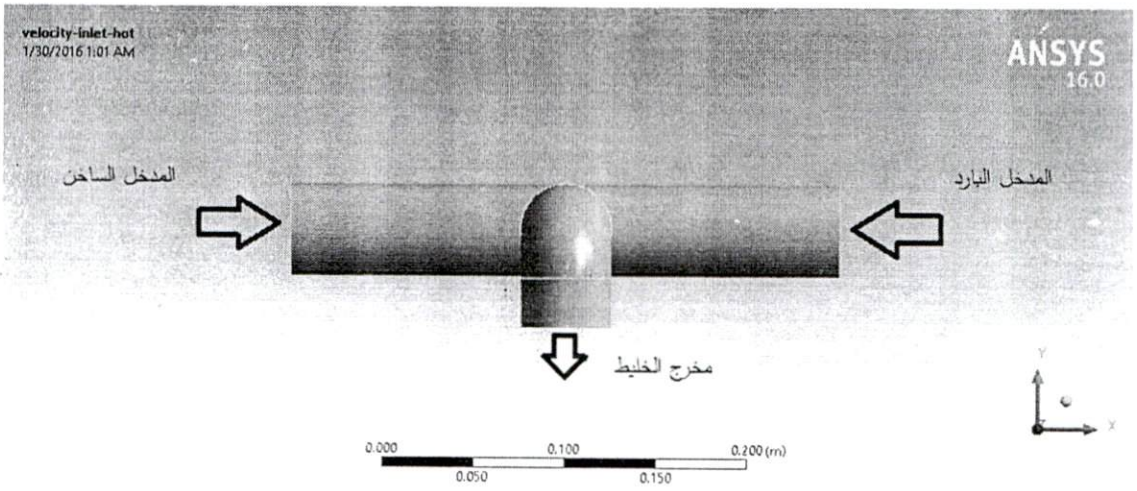
الشكل (4–18) الضغط

من الشكل (4–18) نلاحظ أن زيادة السرعة في المداخل الصغيرة يؤدي الي إنخفاض الضغط ناحية المدخل وزيادة الضغط في مخرج الكوع .



الشكل (4–19) السرعة

4.4 كوع حرف (T) :



الشكل (4–20) كوع حرف (T)

1.4.4 الشروط الحدية الإبتدائية:

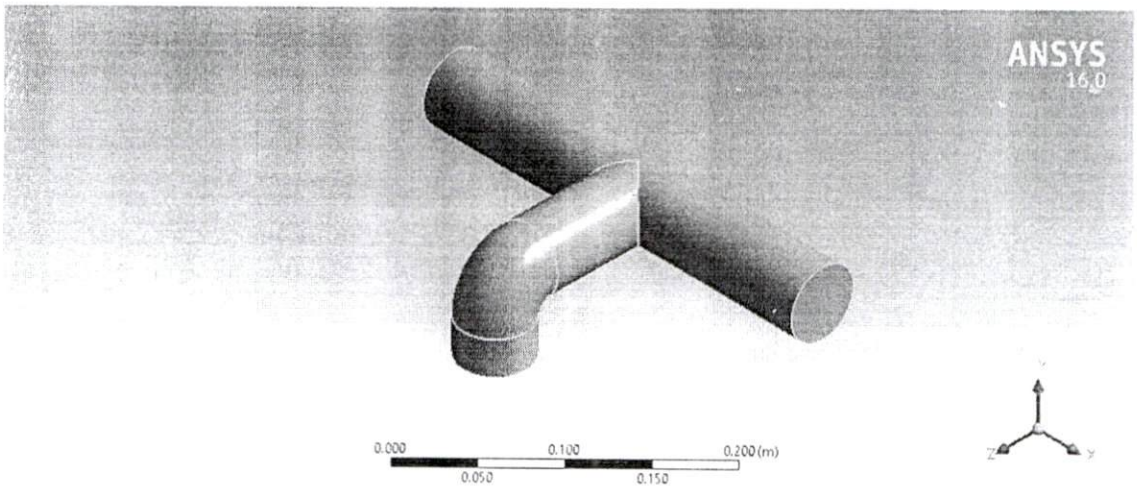
درجة حرارة المدخل الساخن = 313.15° k

السرعة في المدخل الساخن = 0.5 m/s

درجة حرارة المدخل البارد = 293.15° k

السرعة في المدخل البارد = 0.4 m/s

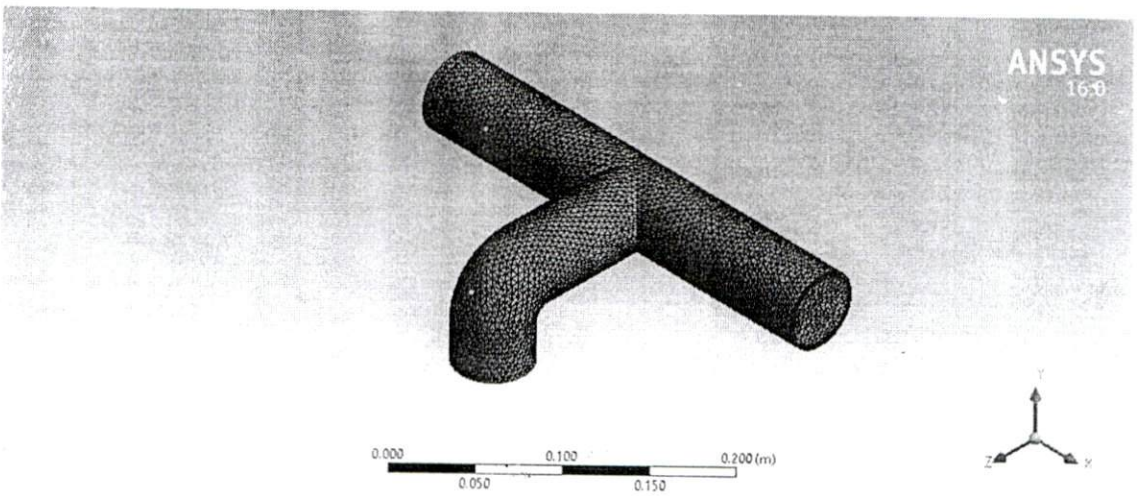
الشكل الهندسي :



الشكل (4–21) الرسم الهندسي

الشكل (4–21) يوضح عملية رسم الشكل الهندسي للكوع .

عملية التقسيم :

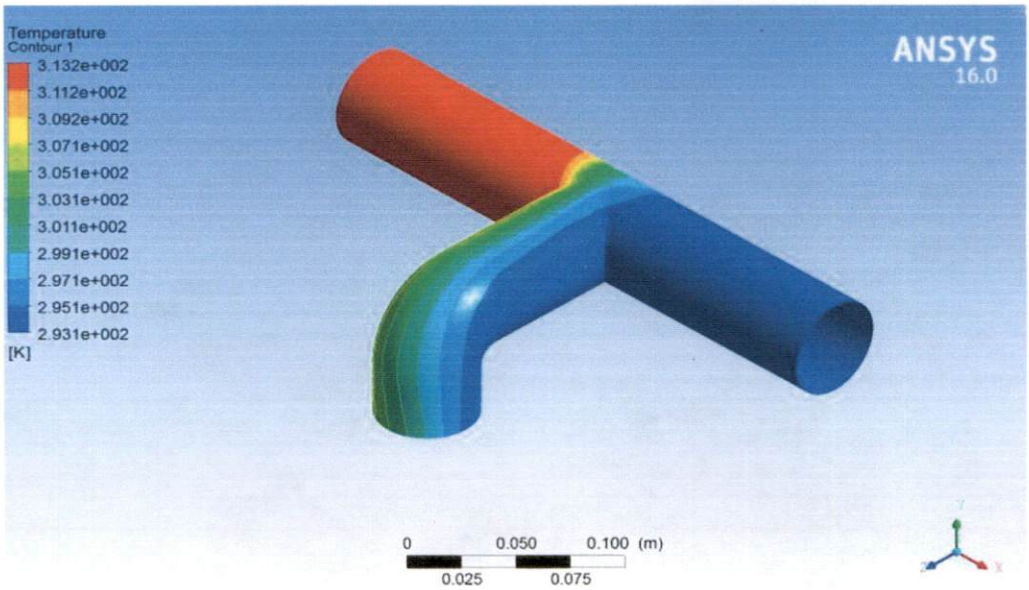


الشكل(4–22) التقسيمات

حيث تم تقسيم الشكل الي 51235 عقدة و 170192 عنصر .

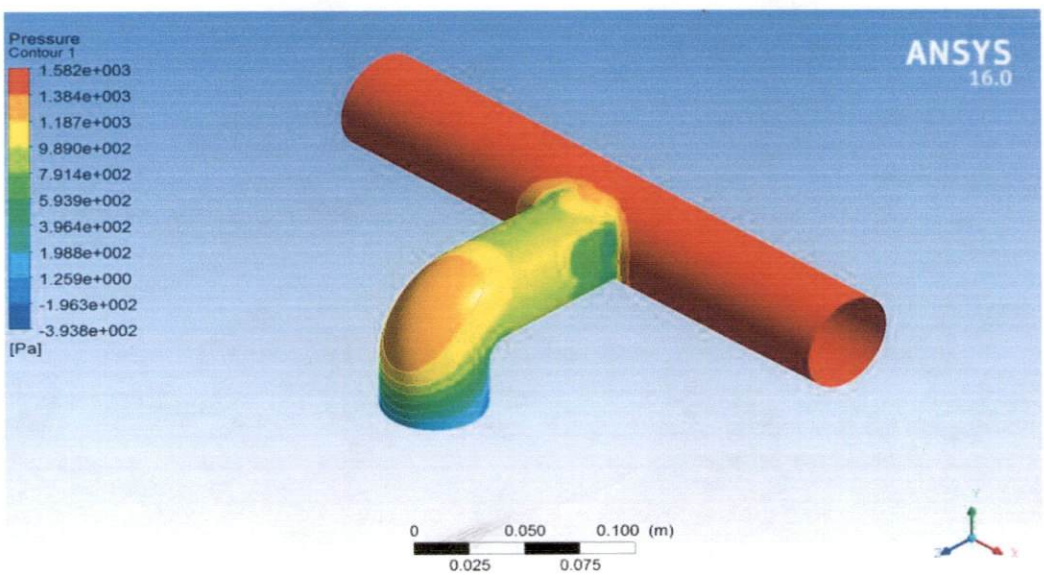
النتائج :

بعد إجراء عملية التحليل العددي تم التحصل علي النتائج التالية :



الشكل (4–23) درجة الحرارة

الشكل (4–23) يوضح درجة الحرارة خلال الكوع حيث نلاحظ أن أعلي درجة حرارة عند المدخل الساخن وأقل درجة حرارة في المدخل البارد بينما درجة الحرارة في المخرج هي $302.4^{\circ}\ k$.



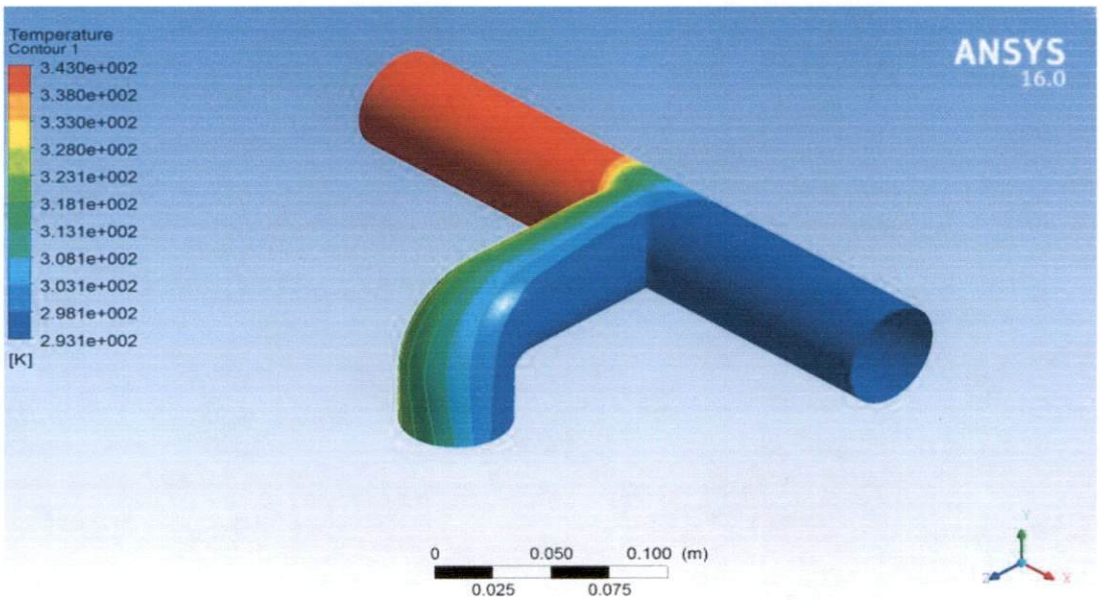
الشكل (4–24) الضغط

الشكل (4–24) يوضح الضغط خلال الكوع ، حيث نلاحظ إرتفاع في الضغط عند مداخل ومنطقة منحنى الكوع ، بينما ينخفض الضغط نسبياً عند المخرج .

التغيير في الشروط الحدية :

2.4.4 زيادة درجة الحرارة :

عند زيادة درجة الحرارة في المدخل الساخن الي 343° k نتحصل علي النتائج التالية :

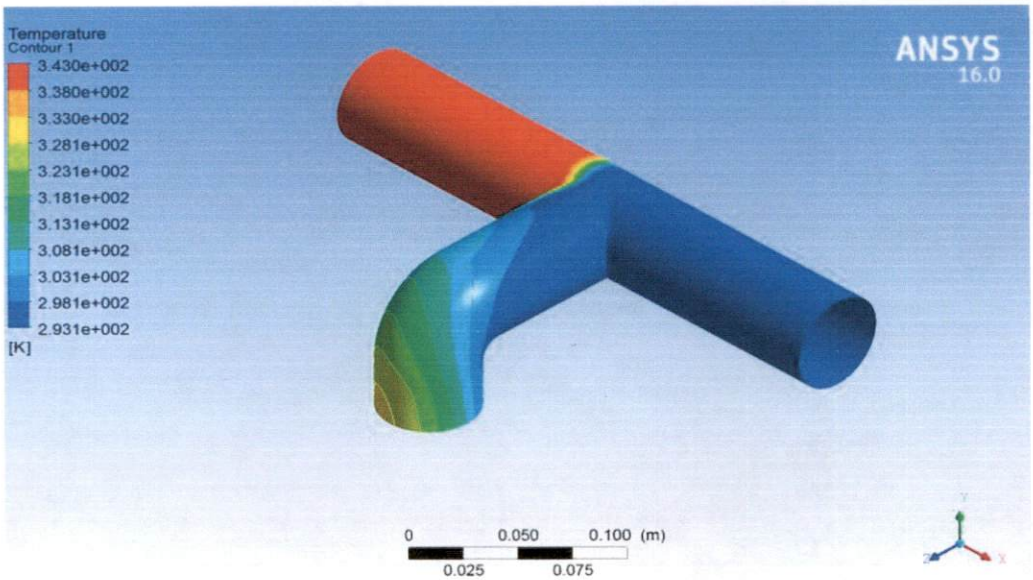


الشكل (4–25) درجة الحرارة

حيث زادت درجة الحرارة في المخرج الي 312.3° k . ولايوجد تغير في الضغط .

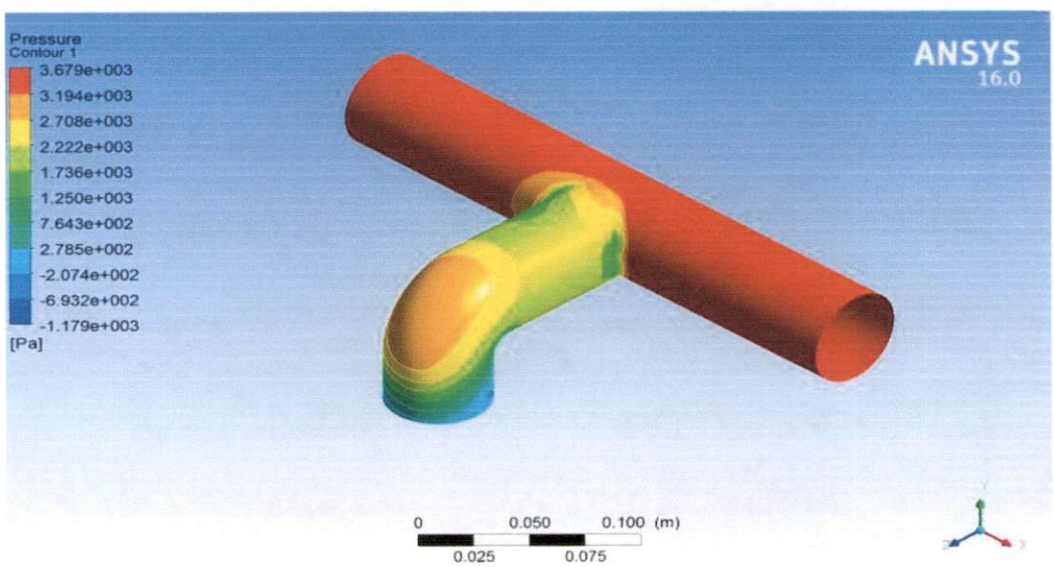
3.4.4 زيادة السرعة ودرجة الحرارة :

عند زيادة السرعة الي 1 m/s ودرجة الحرارة 343° k تم التحصل علي النتائج التالية :



الشكل (4–26) درجة الحرارة

الشكل (4–26) يوضح درجة الحرارة ، حيث نلاحظ أن زيادة سرعة المدخل الساخن أدت الى زيادة درجة الحرارة في المخرج حيث أصبحت درجة حرارة المخرج تساوي 318° k .



الشكل (4–27) الضغط

الشكل (4–27) يوضح الضغط خلال الكوع ، حيث نلاحظ أن زيادة السرعة أدت الي زيادة الضغط في مداخل الكوع وعند المنحني .

الباب الخامس

الخلاصة والتوصيات

الباب الخامس

1.5 الخلاصة :

في هذا المشروع تم عمل محاكاة للتدفق في كوع خلط ، حيث تم إستخدام كوع خلط 90 درجة بمدخل واحد وتم تغيير الشروط الحدّية حيث لوحظ أن زيادة درجة الحرارة في المدخل يؤدي الي زيادة درجة حرارة الخليط في المخرج كما أن للسرعة تأثير واضح علي الضغط حيث أن زيادة سرعة المائع في المدخل يؤدي الي زيادة الضغط في المخرج .

أيضا تم تغيير الشكل حيث تمت إضافة مدخل آخر صغير بدرجة حرارة أعلي ولوحظ أن هنالك زيادة واضحة في درجة حرارة الخليط عند المخرج وأثر زيادة السرعة أصبح كبير ، أيضاً تم إجراء المحاكاة لكوع خلط حرف (T) وتم الحصول علي النتائج في شكل صور .

2.5 التوصيات:

نوصي بأن يتم إستخدام إسلوب ديناميكا الموائع المحوسبة في عمليات التصنيع بحيث يتم عمل نمذجة ومحاكاة للتطبيقات الهندسية قبل الشروع في عملية التصنيع وذلك لمعرفة المشاكل أو العيوب التي يمكن أن تواجهنا ، لأن التجارب المعملية تعتبر مكلفة وبطيئة في نفس الوقت بالرغم من أنها قد تكون أكثر دقة ، كما نوصي بأن تستخدم المحاكاة في التطبيقات التي يكون فيها خطورة علي حياة الإنسان (مثل المواد المشعة) اذا تم عمل تجارب لها في المختبر .

كما نوصي بعمل محاكاة لأنواع مختلفة من الأكواع ويتم تغيير الشكل في كل مرة وملاحظة أفضل الأنواع التي تؤدي النتائج المطلوبة بأقل تكلفة .

المراجع

References

1. CFD–Wiki http://www.cfd–online.com/Wiki/MainPage .
2. P. Wesseling,Principles – 2001 – Computational Fluid Dynamics.
3. John Wiley & Sons –2001– CFD Techniques: An Introduction Based on Finite Element Methods.
4. Wiley & Sons –1990–Numerical Computation of Internal and External Flows.