

## تحليل رقمي ثلاثي الأبعاد باستخدام تقنية CFD لمبادل حراري حلزوني صفائحي مع مقارنة لحالتي الجريان الصفحي والمضطرب

لينا ابراهيم يوسف \*

(تاريخ الإيداع 3 / 8 / 2014. قُبِلَ للنشر في 17 / 9 / 2014)

### □ ملخص □

تم في هذا البحث استخدام تقنية Computational Fluid Dynamics (CFD) في إجراء تحليل رقمي ثلاثي الأبعاد لتحديد خصائص انتقال الحرارة لمبادل حراري حلزوني صفائحي Plate spiral Heat Exchanger بتغيير خواص الجريان وذلك في حالتي الجريان الصفحي وكذلك الجريان المضطرب بالإستعانة ببرنامج ANSYS (FLUENT 12.1.2). كما تم إجراء المقارنة بين الحالتين من حيث توزيع الضغط الستاتيكي والضغط الديناميكي، وحقل توزيع درجات الحرارة الستاتيكية والكلية للمائع البارد والمائع الساخن، وأيضاً مخطط السرعة عند شروط عمل محددة، وكذلك تحديد تأثير درجات الحرارة عند مدخل ومخرج المبادل لكلا المائعين على الاستطاعة الحرارية والمردود الحراري حسب طبيعة الجريان (جريان صفحي، جريان مضطرب)، بهدف إيجاد القيم المثلى لهذه البارامترات التي تعمل على تحسين أداء المبادلات الحرارية الحلزونية الصفائحية.

**الكلمات المفتاحية:** المبادل الحراري، الحلزوني، الصفائحي، انتقال الحرارة، تحليل رقمي.

\* مشرفة على الأعمال - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Numerical Analysis 3D by using Of (CFD) Technique For Plate Spiral Heat Exchanger In Cases Compersion with Turbulent Flow, laminare flow

Lina Ibrahim Youssef \*

(Received 3 / 8 / 2014. Accepted 17 / 9 / 2014)

### □ ABSTRACT □

In this research, we have used Computational Fluid Dynamics (CFD) to perform a 3D Numerical Analysis 3D in order to define heat transfer properties for a Spiral Plate Heat Exchanger by changing flow properties in cases of the turbulent flow and laminare flow by using ANSYS FLUENT 12.1.2 . And, a comparsion has been made between the two cases in terms of static pressure, dynamic pressure, domain distribution of static temperature, total temperature for cold fluid and hot fluid in addition to hat plate at speed of certain working conditions, as well as defining the effect of tempurature at inlet and outlet of Heat Exchangers to both fluids on thermal capacity and thermal yield according to nature flow (turbulent flow, laminare flow), on parpose of finding the best values for parameters wich work to improve the efficiency of Plate Spiral Heat Exchangers.

**The key words:** heat exchanger, spiral, plate, heat transfer, simulation, Computational Fluid Dynamics , modeling.

---

\* Work Supervisor , Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, University of Tishreen, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

التبادل الحراري هو عملية انتقال الحرارة من وسط إلى آخر. وتتم عملية التبادل في جهاز يسمى المبادل الحراري، والفكرة الأساسية للمبادل الحراري هي مرور مائعين ضمن أنابيب أو ألواح تفصل بين المائعين وتشكل جدران المبادل، وتتم عملية تبادل الحرارة من خلال المبادل الحراري وبالتالي لا يحدث اختلاط للوسيطين. قد يكون المائعين سائل - سائل (وهي أكثر المبادلات الحرارية شيوعاً واستخداماً)، أو سائل - غاز، أو غاز - غاز (وتعدّ من أنواع المبادلات الحرارية المعقدة) [1].

يتم تصنيف المبادلات الحرارية بشكل عام وفقاً لمعايير مختلفة. فيمكن تصنيفها وفقاً للدلالة الوظيفية (حيث تقسم تبعاً لمبدأ عملها إلى مبادلات حرارية سطحية ذات سطح يفصل بين المائع الساخن والمائع البارد تماس غير مباشر Indirect Contact Heat Exchanger، ومبادلات حرارية تلامسية ذات تماس مباشر Direct Contact Heat Exchanger يتم فيها تبادل الحرارة نتيجة مزج المائع الساخن مع المائع البارد).

تقسم المبادلات الحرارية السطحية حسب شكل الجريان إلى مبادلات حرارية ذات جريان بسيط (تميز منها مبادلات ذات جريان متوازٍ Parallel Flow حيث يجري المائعان في نفس الاتجاه، ومبادلات ذات جريان متعاكس Counter Flow، ومبادلات ذات جريان متعامد Cross Flow). ومبادلات حرارية ذات جريان مختلط (في أغلب الحالات العملية يتغير التدفق من متوازٍ إلى متعاكس إلى متعامد ضمن نفس المبادل).

أو تصنف المبادلات الحرارية وفقاً لتصميم سطوح التبادل الحراري (حيث تقسم المبادلات الحرارية السطحية وفقاً لذلك إلى مبادلات حرارية أنبوبية ذات أنابيب مستقيمة ملساء، مبادلات حرارية أنبوبية مع أنابيب مزعفة، مبادلات حرارية صفائحية مزعفة، مبادلات حرارية حلزونية وهي إما أنبوبية حلزونية أو صفائحية حلزونية).

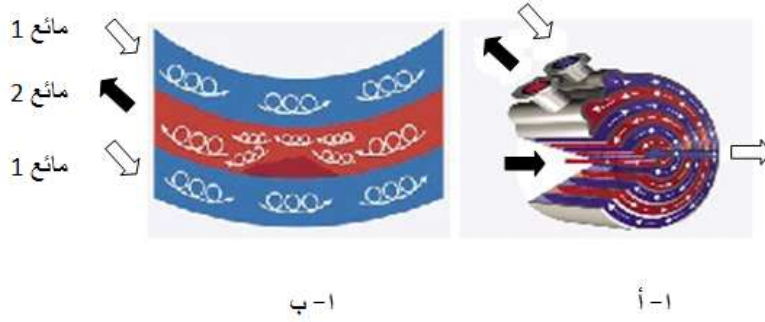
أو تصنف وفقاً لطريقة حركة الوسائط الناقلة للحرارة (مبادلات حرارية ذات دوران طبيعي حركة الوسائط الحرارية فيها نتيجة فرق الكثافة ومبادلات حرارية ذات دوران قسري تحتاج إلى مضخة تدوير أو مروحة سحب) [2].

تؤخذ المعايير الأساسية التالية بعين الاعتبار عند الحاجة لاختيار المبادل الحراري منها حرارة المائع وضغط التشغيل، معدل جريان المائع، طريقة جريان المائع (متوازي، متعاكس، متعامد)، نوع طور المائع المستخدم، المواد الداخلة في تركيب المبادل، الترسبات داخل المبادل، التمدد الحراري، الجدوى الاقتصادية. ومن المعايير المهمة الأخرى التي من الواجب أخذها بعين الاعتبار مثل عملية التركيب والصيانة والفحص والتنظيف حيث إن ذلك سينعكس على ديمومة التشغيل وسلاسته.

تتسم المبادلات الحرارية الجيدة بتحقيق الهدف الذي تستخدم من أجله ويجب أن توفر فيها المتطلبات التالية: أن تكون ذات تأثير حراري عالي فتعطي أعلى معامل للنقل الحراري (HTC) Heat Transfer Coefficient، أن يكون فقدان الضغط فيها أقل ما يمكن Less Pressure Drop، أن يستخدم في تصميمها مواد ذات نوعية واعتمادية عالية تضمن سلامة تشغيلها، أن تكون مقاومة لتأثيرات التآكل الناتجة عن الموائع الجارية فيها لإجراء التبادل الحراري وتأثيرها على المواد المستخدمة في تصنيعها، أن تكون ذات حجم ووزن مناسبين، أن تتحمل الضغوط ودرجات الحرارة التشغيلية العالية، أن تكون أقل كلفة استثمارية وتشغيلية، وذات عمر تشغيلي طويل، و أن تكون صيانتها سهلة، مع سهولة تبديل أجزاء المبادلات الحرارية.

المبادلات الحرارية الحلزونية الصفائحية منتج معروف جيداً، منذ وقت طويل. وهي في حالة تطور مستمر، وتصمم باستخدام أحدث التقنيات وتتميز المبادلات الحرارية الحلزونية الصفائحية (الشكل 1-أ) بما يلي: معامل انتقال

حرارة مرتفع، انسداد أقل، مرونة في التشغيل، سهولة الصيانة، ولا تشغل حيزاً كبيراً. كما أنها ملائمة بشكل أفضل للتعامل مع الترسبات، والسوائل اللزجة، ويمكن أن تعمل عند مجال درجات الحرارة المنخفضة [3] [4]. وبسبب نمط تدفق التيار المعاكس، في العمليات أحادية الطور يمكن استخدام هذا المبادل في المهمات التي تتطلب كفاءة حرارية مرتفعة. كما تمتاز هذه المبادلات في إمكانية نقل الحرارة ضمن حجم صغير نسبياً [6] [5]. ونميز في المبادلات الحرارية الحلزونية الصفائحية طرق مختلفة للجريان منها المتوازي والمتعاكس كما في الشكل (1-ب) [1].



الشكل (1): المبادل الحراري الحلزوني الصفائحي

نشر (Dongwu,2003) وصف كامل للبارامترات التصميمية للمبادلات الحرارية الحلزونية حيث تم عرض المعادلات اللازمة لحساب القطر الحلزوني، وتم عرض الأبعاد الهندسية الأساسية لهذا النوع من المبادلات والعلاقات الرابطة بينها [7]. كما قام (Burmeister,2006) بتطوير طريقة تقريبية لتحديد الكفاءة الحرارية باستخدام وحدات عدد التحويل الحراري لهذا النوع من المبادلات، وسليبات هذه الطريقة كونها تشترط أن تكون نسبة السعة الحرارية للسائلين متساوية [8].

### أهمية البحث وأهدافه:

تتلخص أهمية البحث في إجراء تحليل رقمي ثلاثي الأبعاد لتحديد خصائص انتقال الحرارة من أجل مبادل حراري حلزوني صفائحي بتغيير خواص الجريان وذلك في حالتَي الجريان الصفحي والجريان المضطرب. وإجراء المقارنة بين الحالتين من حيث توزيع الضغط الستاتيكي والضغط الديناميكي، وحقل توزيع درجات الحرارة الكلية للمائع البارد والمائع الساخن، وأيضاً مخطط السرعة عند شروط عمل محددة. كذلك تحديد تأثير درجات حرارة دخول المائع البارد  $T_{ci}$  ودرجات حرارة دخول المائع الساخن  $T_{hi}$  على كل من المردود الحراري ( $\eta_c$  بالإضافة ل  $\eta_h$ )، والاستطاعة الحرارية  $Q$  بالتالي تأثيرها على كفاءة المبادل الحراري الحلزوني الصفائحي حسب طبيعة الجريان (جريان صفحي، جريان مضطرب). ويكون الهدف من البحث هو الحصول على فهم أفضل وأكثر لعملية انتقال الحرارة التي تحصل عند جريان السائل في صفائح ملتفة بشكل حلزوني في حالتَي الجريان الصفحي والجريان المضطرب وذلك بهدف إيجاد القيم المثلى لهذه البارامترات التي تعمل على تحسين أداء المبادلات الحرارية الحلزونية الصفائحية.

## طرائق البحث ومواده:

نسعى في هذا البحث إلى تحسين أداء المبادل الحراري الحلزوني الصفائحي من خلال الوصول إلى التصميم الأمثل عن طريق النمذجة الحاسوبية. حيث تم استخدام تقنية (CFD) (ديناميك السوائل الحسابي). تستخدم ديناميكا السائل الحسابية Computational Fluid Dynamics، التي تختصر CFD، أساليب رقمية مختلفة وعدد من الخوارزميات الكمبيوترية من أجل حل وتحليل المشاكل التي تشمل تدفق السوائل. تتيح هذه التقنية للباحث معرفة توزيع الأنتالبي وتوزيع الأنتروبي والطاقة الحركية وشدة الإضطراب والكثافة وغيرها من البارامترات ولكن سنكتفي في دراستنا بتوزيع الضغط ودرجة الحرارة والسرعة.

الحسابات المطلوبة لمحاكاة جريان السوائل مع السطوح المعرفة بالشروط الحدية، والشروط الأولية تتم بـ ANSYS FLUENT 12.1.2. وتشكل معادلات Navier stokes الأساس الأولي من أجل حل مشاكل ديناميك السوائل. كما تحكم معادلة الاستمرار، معادلة الطاقة ومعادلة كمية الحركة Navier-Stokes تدفق السائل في الجريان داخل المبادل. وقد قمنا في مرحلة سابقة بإعداد نموذج رياضي لعمليات انتقال الحرارة وجريان الموائع ضمن المبادل وربط معادلاتها الواصفة مع الأبعاد التصميمية للمبادل بعد إجراء دراسة تحليلية شاملة لكافة المعادلات الخاصة بتصميم المبادل الحراري الحلزوني.

### 1- النموذج الفيزيائي:

تم اختيار مبادل حراري حلزوني صفائحي كنموذج أولي للتجارب العددية متعاكس الجريان. حسب أنصاف أقطار الحلزون للمبادل الحراري الحلزوني الصفائحي بعلاقات تحليلية. المواصفات والشروط المستخدمة لنموذج المبادل الحراري الحلزوني الصفائحي المدروس ( القطر الأعظمي  $D_{max} = 0.655[m]$  ، القطر الأصغري  $D_{min} = 0.10[m]$  ، الارتفاع  $h_s = 0.24[m]$  ، ثخانة الصفيحة  $d_w = 0.00125[m]$  ، درجة حرارة دخول المائع البارد  $T_{ci} = 30[c^\circ]$  ، درجة حرارة دخول المائع الساخن  $T_{hi} = 70[c^\circ]$  ، المائع المستخدم ماء- ماء والمبادل مؤلف من ست لفات). المعادلات الواصفة للنمذجة العددية تتألف (على التوالي) من: معادلة الإستمرار- معادلة كمية الحركة (إحدى أشكال كمية الحركة ضمن نافير ستوكس) بالإضافة إلى معادلة شدة الإضطراب كتابع لرقم رينولدز ومعادلة الطاقة الحركية للإضطراب (في حالة الجريان المضطرب) وتعدّ المعادلتان (3) و(4) معادلات تجريبية لوصف حالة الإضطراب في السائل [9].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho w_j)}{\partial x_j} = 0$$

(1)

$$(2) \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k$$

$$(3) I = \frac{U}{U} = 0.16(R_e)^{-\frac{1}{8}}$$

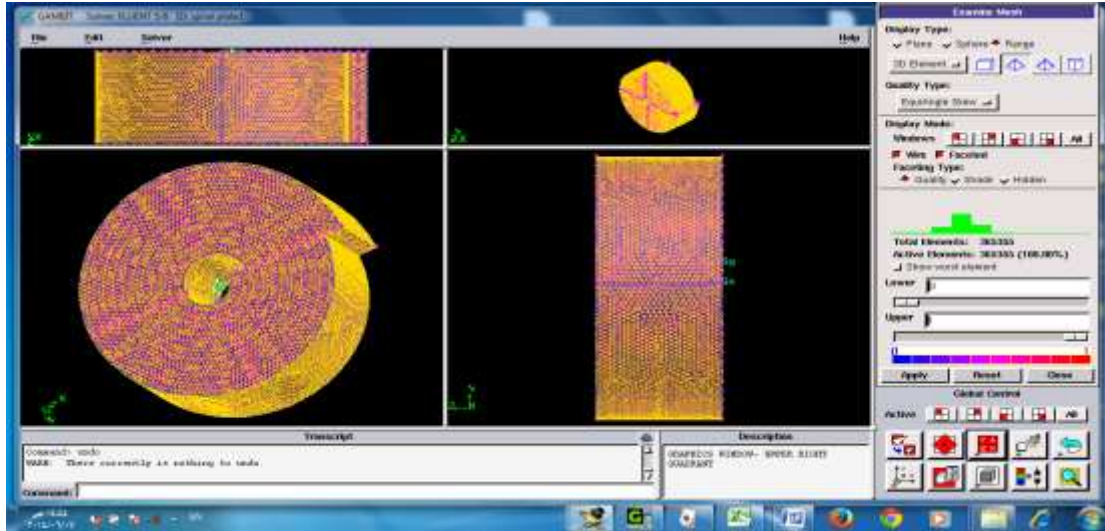
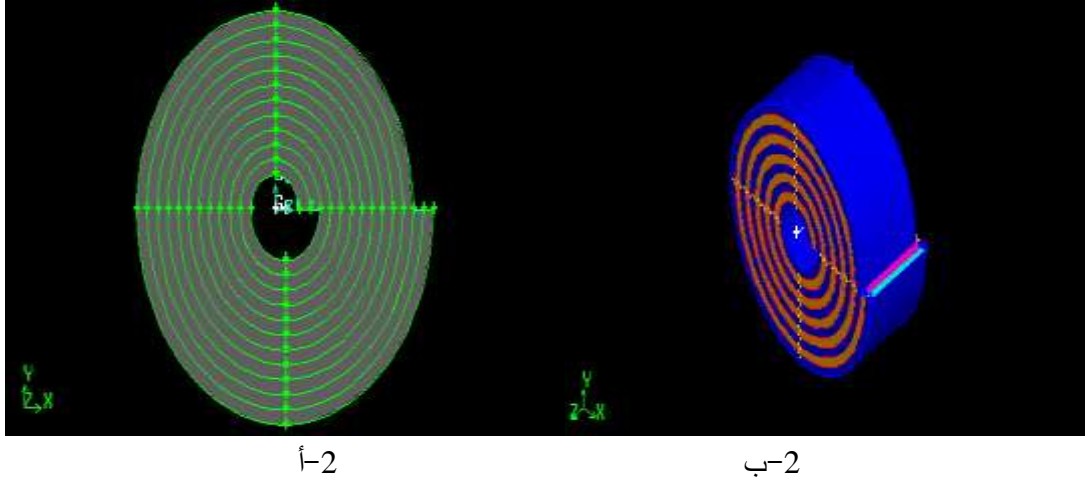
$$(4) K = \frac{3}{2} (u_{avg} \cdot I)^2$$

2- النمذجة العددية:

تبدأ دراسة ديناميكا السوائل الحسابية (CFD) Computational Fluid Dynamics للنظام بتشكيل الهندسة المناسبة وشبكة النموذج المدروس. ويشكل عام، يتم تبسيط الهندسة من أجل دراسات CFD. إن التشكيل الشبكي يعني تجزئة النطاق إلى حجوم أصغر و يتم حل المعادلات بواسطة التكرار. و تبدأ النمذجة بتحديد الشروط الحدية

والشروط الأولية للنموذج بالإضافة للخواص الفيزيائية والترموديناميكية للمائع المستخدم ولمادة صنع النموذج، يليها تحليل النتائج، الاستنتاجات والمناقشات.

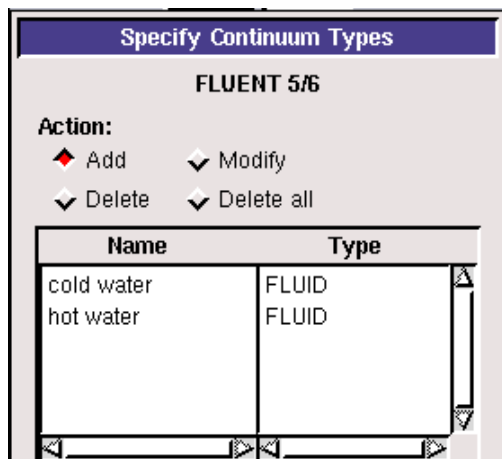
تم في هذا الجزء رسم وإنشاء النموذج العددي للمبادل الحراري الحلزوني الصفائحي ذي الأبعاد والقياسات السابقة واعتماداً على قيم أنصاف أقطار الحلزون تم رسم النموذج الهندسي للمبادل الحراري على برنامج الـ GAMBIT من خلال تحديد النقاط ومن ثم الحواف كما في الشكل (2-أ) وبعدها السطوح وأخيراً تحويلها إلى حجوم الشكل (2-ب). كما تم التقسيم إلى شبكة من العناصر المنتهية MESH بشكل هرمي الشكل (2-ج).



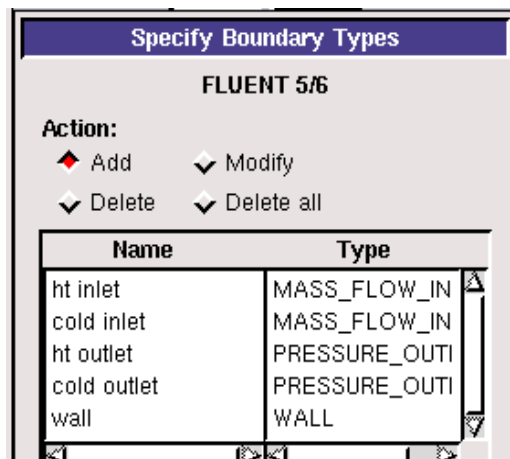
ج-2

الشكل (2): المبادل الحراري الحلزوني الصفائحي

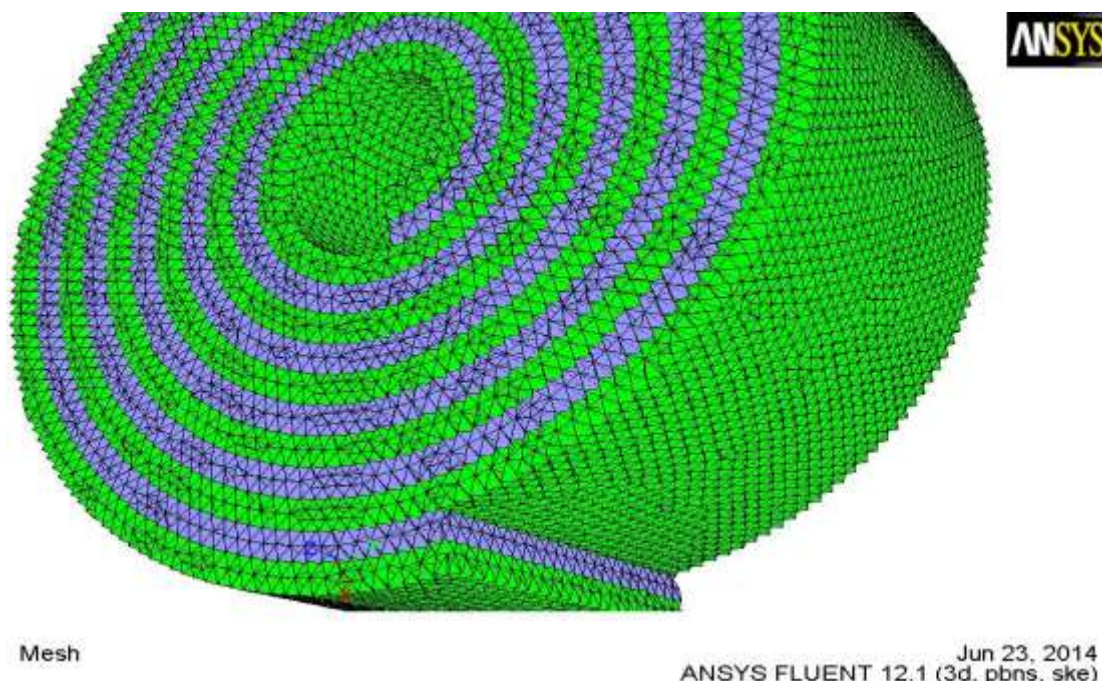
تم تحديد مجموعة الشروط الحدية على سطوح المبادل كما هو مبين بالشكل (3-أ) كما تم تحديد نوع الجريان داخل المبادل كما في الشكل (3-ب) ومن ثم تم تصديره إلى برنامج الـ ANSYS.



الشكل (3-ب): نوع الجريان داخل المبادل



الشكل (3-أ): الشروط الحدية على سطح المبادل



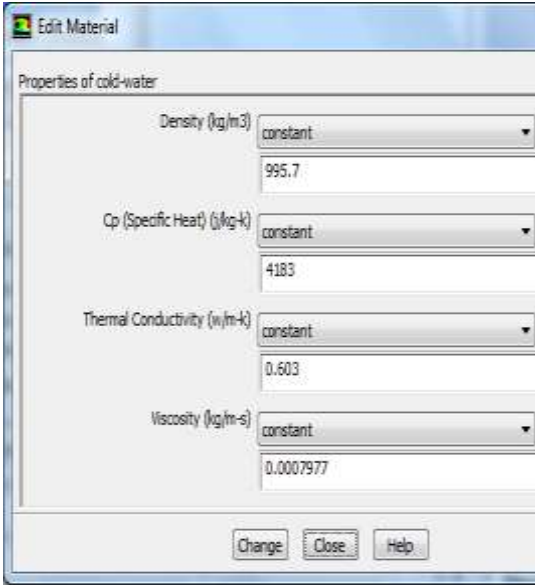
الشكل (4): الميش الحجمي للمبادل الحراري الحلزوني الصفائحي المدروس

الشكل (4) يبين الميش الحجمي (الدراسة ثلاثية الأبعاد) للمبادل الحراري الحلزوني الصفائحي المدروس ضمن ال ANSYS FLUENT 12.1.2 . حيث تم تجزئة النموذج إلى عدد كبير من العناصر المنتهية. صورة الشبكة تبين عدد العقد 97325 .nodes

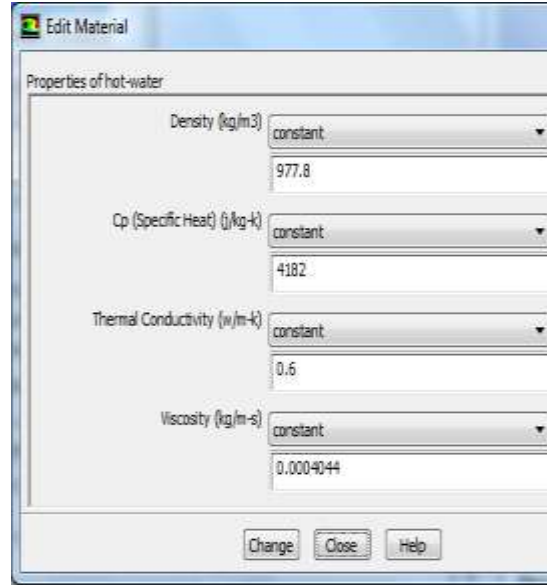
تم تعريف السطوح المختلفة للجسم الصلب حسب المداخل والمخارج المطلوبة من أجل المائع الساخن والمائع البارد. وتم تعريف الجدار الداخلي والجدار الخارجي للمبادل.  
الحل Solve: من أجل الحل يتم المرور بالمرحلة التالية:

النماذج Models : يتم تفعيل معادلة الطاقة Energy إلى موضع ON. يتم اختيار النموذج الصفحي للزوج Viscous Laminar (حالة الجريان الصفحي). يتم تفعيل تأثيرات الحرارة على اللزوجة Viscous Heating وكذلك الطبقة الحدية لانخفاض الضغط Low-Pressure Boundary Slip لزيادة دقة النتائج.

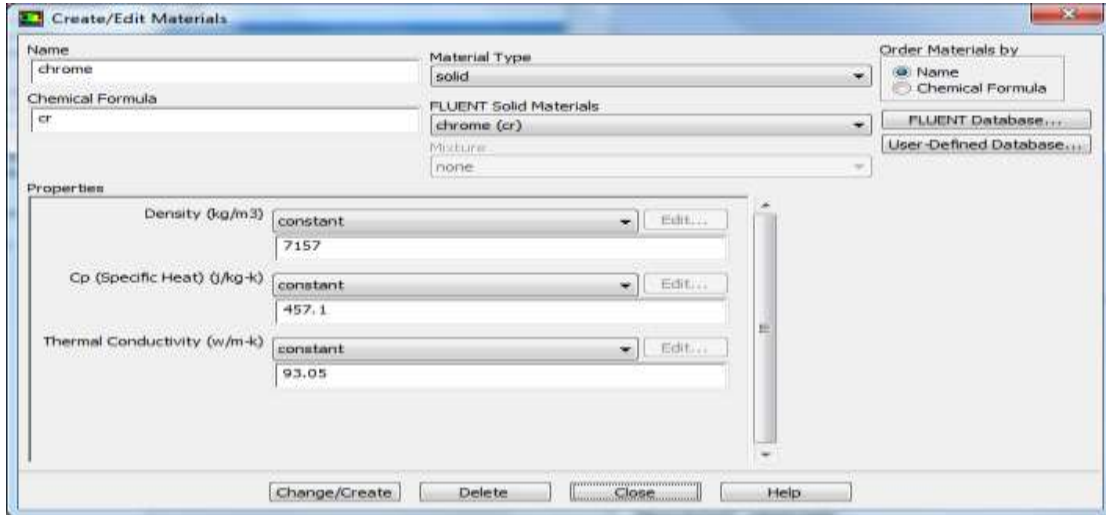
المواد Materials : يتم النقر على خيار خلق/إعداد لإضافة الماء السائل والكروم الصلب إلى لائحة السائل والصلب على التوالي من قاعدة بيانات التدفق.



الشكل (5-ب): الخواص الفيزيائية للماء البارد



الشكل (5-أ): الخواص الفيزيائية للماء الساخن



الشكل (5-ج): الخواص الفيزيائية لمادة صنع المبادل(الكروم)

الشكل (5) يوضح الخواص الفيزيائية للماء البارد(أ) و للماء الساخن(ب) ولمادة صنع المبادل (الكروم) (ج). شروط منطقة الخلية Cell zone conditions : يتم تخصيص الأجزاء على أنها ماء بارد cold\_water وماء ساخن hot\_water وكروم (أجزاء السائل/الصلب).



## الشروط الحدية Boundary Conditions :

يتم استخدام الشروط الحدية وفقاً لحاجة النموذج. ويتم تعريف شروط المدخل والمخرج على أنها تدفق المدخل وضغط مخرج للوسط الخارجي. ولأن هذا التدفق متعاكس مع صفيحتين لذا يكون هناك مدخلان (أحدهما للماء البارد والآخر للماء الساخن) ومخرجان (أحدهما للماء البارد والآخر للماء الساخن). ويتم تحديد الجدران بشكل منفصل مع الحدود المعتبرة. ويمكن رؤية كل التفاصيل بخصوص الشروط الحدية في الجدول (1).

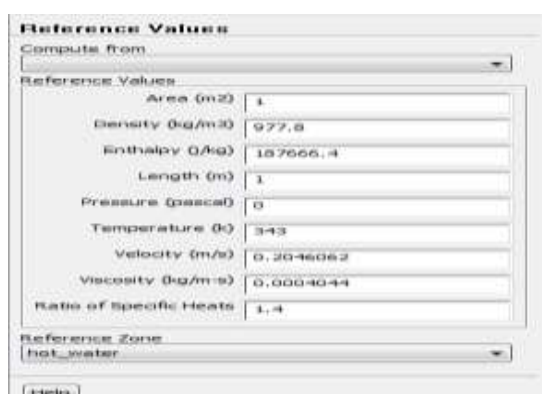
الجدول(1): الخصائص المحددة للشروط الحدية

الشروط الحدي		الخصائص المحددة
Cold_water_inlet	مدخل الماء البارد	$T = 303 [k]$ $m' = 0.9558 [kg/se]$
hot_water_inlet	مدخل الماء الساخن	$T = 343 [k]$ $m' = 0.9387 [kg/se]$
Cold_outlet	مخرج الماء البارد	$T = 300 [k]$
hot_outlet	مخرج الماء الساخن	$T = 300 [k]$
Inner-wall	الجدار الداخلي للمبادل	$T = 323 [k]$ $d_w = 0.00125 [m]$
Outer-wall	الجدار الخارجي للمبادل	$T = 323 [k]$ $d_w = 0.00125 [m]$

يمكن استخراج تقرير كامل عن كامل النموذج والحل والنتائج باستخدام الأمر Report .

القيم المرجعية Reference Values :

يتم اختيار شروط دخول المائع الساخن hot\_water-inlet كقيم مرجعية للحساب والقيم يظهرها الشكل(6):



الشكل (6): صورة للقيم المرجعية

- طرق الحل Solution Methods : تم تحديد طرق الحل كما يلي:
- المخطط Scheme : نختار طريقة ربط خواص الضغط بخواص السرعة للجريان من النوع PISO لأنها الأنسب للجريانات الدورانية.
  - التدرج Gradient : Green-Gauss Node Based : طريقة حل المصفوفات العنصرية وهي (طريقة رياضية للتحليل العددي التقريب).
  - الضغط Pressure : قياسي Standard
  - عزم الحركة Momentum : نأخذ First Order Upwind
  - الطاقة Energy : نختار First Order Upwind
  - نفعل Skewness-Neighbor Coupling
- حيث إن كل خيار من الخيارات الثلاثة الأخيرة يحدد معيار دقة حساب المعادلات.
- التحكم بالحل والبدء Solution Control and Initialization: ضمن عوامل الامان تكون المعايير كما هي مبينة بالجدول (2).

الجدول (2): قيم التحكم بالحل

Solution controle	
الضغط Pressure	0.3 [Pascal]
الكثافة Density	1 [ kg/m <sup>3</sup> ]
قوى الجسم Body forces	1 [ kg/m <sup>2</sup> s <sup>2</sup> ]
كمية الحركة Momentum	0.7 [ kg-m/s]

معيار التقارب Residuals :

تم إعطاء معايير دقة الحل كما في الجدول (3) من أجل الحصول على تقارب مناسب للحل وبالتالي نتائج دقيقة.

الجدول (3): معايير دقة الحل

Residuals Monitors	
Variable	Residual
Continuity	0.001
x-velocity	0.001
y-velocity	0.001
z-velocity	0.001
Energy	$1.10^{-6}$

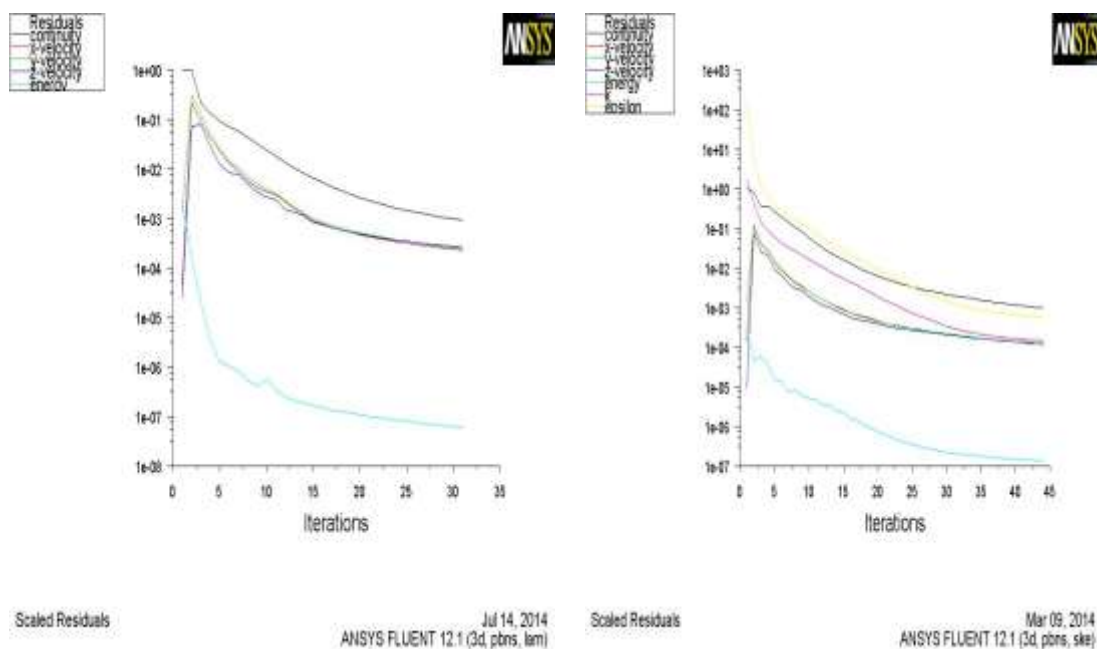
## حساب التشغيل Run Calculation :

يتم تحديد عدد التكرار إلى 100 ويتم حساب الحل ويتم الحصول على الخطوط (مناسيب contours)، الأشعة (vectors) والمخططات المتنوعة.

إن القيم التي تم إدخالها في جميع مراحل العمل تخص حالة الجريان الصفحي مع العلم أنه تم في دراسة مشابهة دراسة حالة الجريان المضطرب وفق ترتيب المراحل ذاته.

## النتائج والمناقشة :

بعد تزويد البرنامج بكل البارامترات المطلوبة وإجراء التغييرات اللازمة لأساليب وخوارزميات الحل المتاحة و أخذ الخيار RunCalculation ضمن الأمر SOLVE والبدء بالحل العددي بإعطاء الأمر Calculate يمكننا الحصول على النتائج البدائية للدراسة ثلاثية الأبعاد لكل من توزيع السرعة وتوزيع الضغط وحقل توزيع درجات الحرارة ضمن صفائح المبادل الحراري الحلزوني الصفاحي في حالة جريان متعاكس مضطرب، وفي حالة جريان متعاكس صفحي.

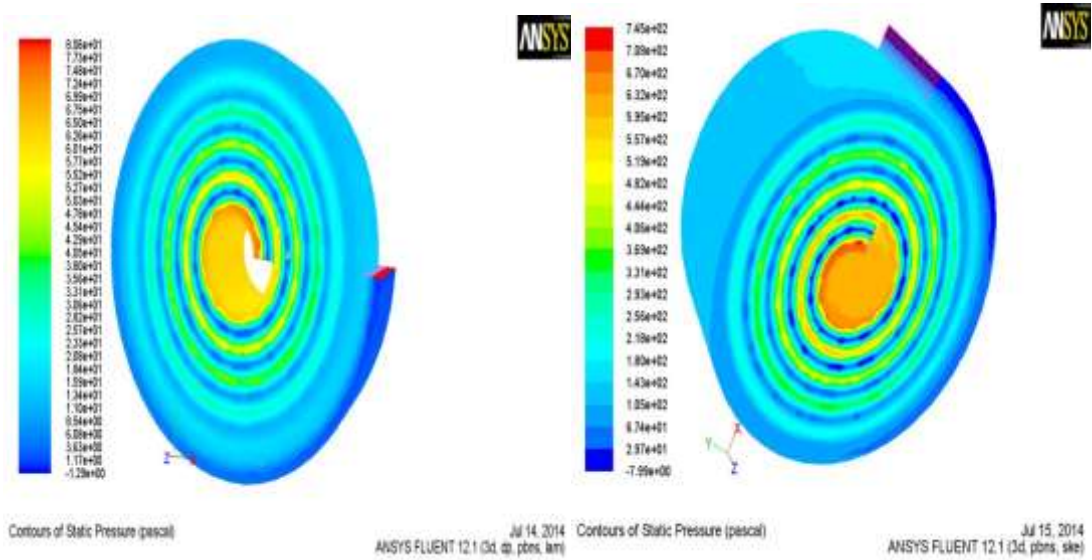


ب: جريان صفحي

أ: جريان مضطرب

الشكل (7) مسار تقارب الحل لمعادلات الجريان للمبادل الحراري الحلزوني الصفاحي (أ: مضطرب، ب: صفحي)

يبين الشكل (7) مسار تقارب دقة الحل لمعادلات الجريان في حالتي الجريان الصفحي والجريان المضطرب وتشمل (معادلة الاستمرار، السرعة بالاتجاه  $x$ ، السرعة بالاتجاه  $y$ ، السرعة بالاتجاه  $z$ ، معادلة الطاقة، بالإضافة لمعادلة الاضطراب لحالة الجريان المضطرب). حيث نجد الحل يتقارب (يصل للدقة المطلوبة) عند عدد تكرار 45 بالنسبة لحالة الجريان المضطرب بينما يتقارب الحل عند عدد تكرار 35 بالنسبة للجريان الصفحي.

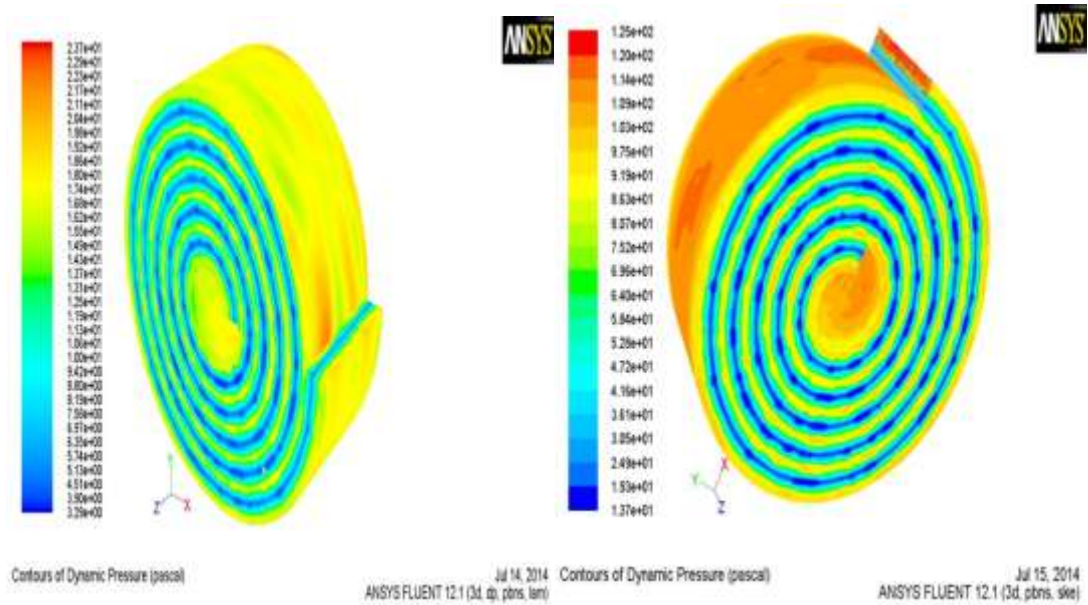


ب: جريان صفحي

أ: جريان مضطرب

الشكل (8) توزيع خطوط الضغط الستاتيكي كسطوح مناسبة لحدان المبادل (أ: مضطرب، ب: صفحي)

يبين الشكل (8) صورة لتوزيع خطوط الضغط الستاتيكي. التمايز اللوني الذي يظهره الشكل وقيم الضغط الموضحة بتدرج لوني على اليسار تبين أن الضغط ينخفض من مدخل الجريان لمخرجه في الحالتين وأن المبادل يعمل عند مجال ضغط أوسع في حالة المضطرب منه في حالة الصفحي. بالرغم من أن حالة الجريان الصفحي تعطي قيمة للضغط أعلى تصل حتى  $80 \text{ Pascal}$  سيما على الأوجه الداخلية للمبادل.

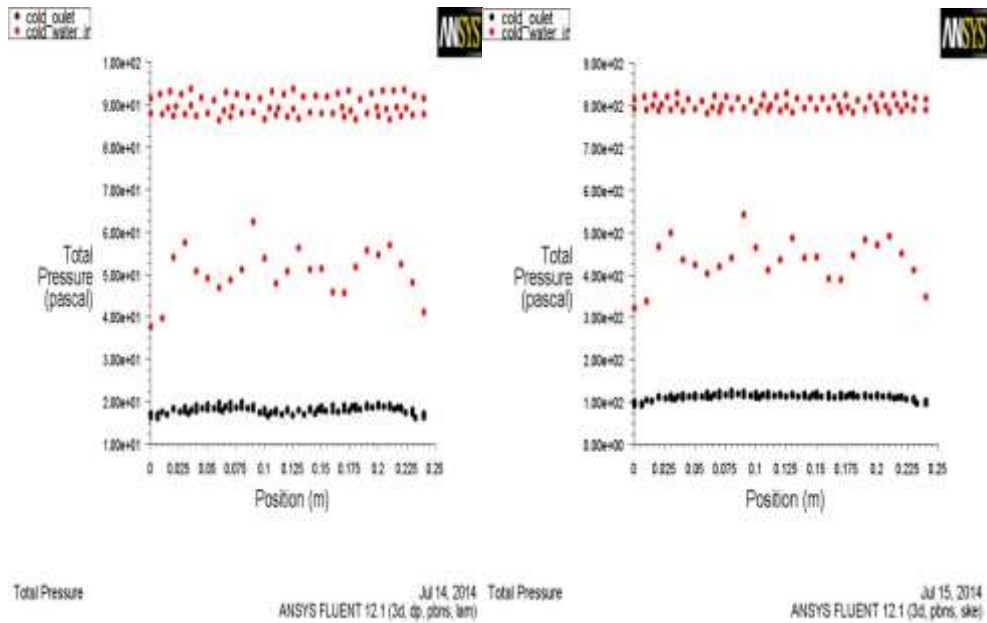


ب: جريان صفحي

أ: جريان مضطرب

الشكل (9) توزيع خطوط الضغط الديناميكي كسطوح مناسبة لحدان المبادل (أ: مضطرب، ب: صفحي)

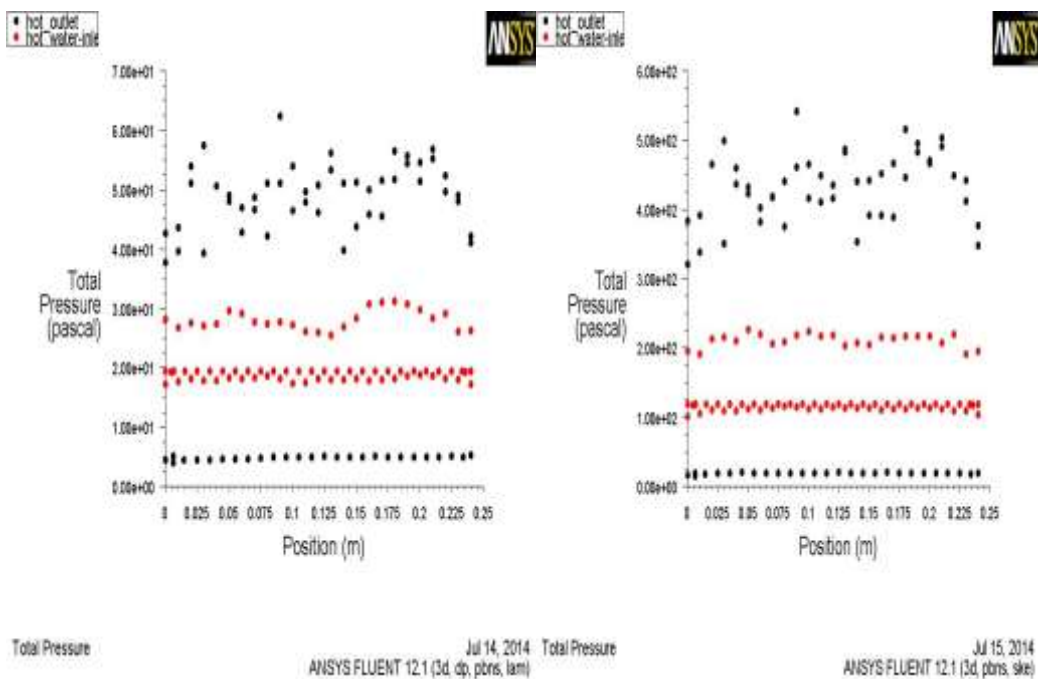
يعطي الشكل (9) قراءة لكيفية توزع خطوط الضغط الديناميكي على كامل جدران المبادل حيث تزداد من المدخل إلى المخرج (في الحالتين) ونجد أن اضطراب الجريان يؤثر بقيم أكبر للضغط الديناميكي على جدران المبادل.



ب: جريان صفحي

أ: جريان مضطرب

الشكل (10) مخطط توزع الضغط الكلي لدخول وخروج المائع البارد (أ: مضطرب، ب: صفحي)

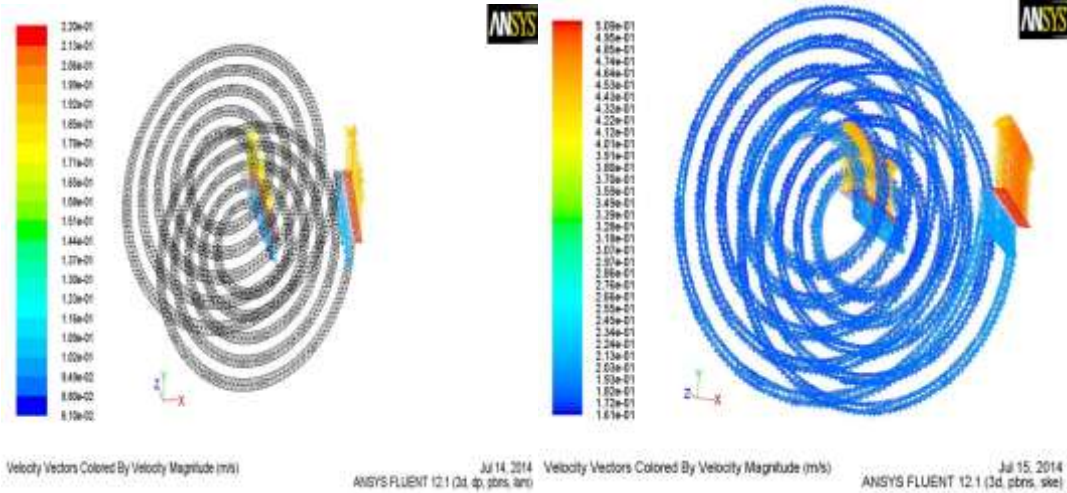


ب: جريان صفحي

أ: جريان مضطرب

الشكل (11) مخطط توزع الضغط الكلي لدخول وخروج المائع الساخن (أ: مضطرب، ب: صفحي)

يظهر الشكل (10) توزيع الضغط الكلي لدخول وخروج المائع البارد والشكل (11) توزيع الضغط الكلي لدخول وخروج المائع الساخن. نجد أ، ضغط جزيئات المائع عند المدخل أكبر من ضغطها عند المخرج بالنسبة للمائع البارد بينما ضغط بعض جزيئات المائع الساخن أكبر عند المخرج منها عند المدخل (في حالتي الجريان). لكن توزيع الضغط على ذرات السائل أكثر انتظاماً بحالة المضطرب.

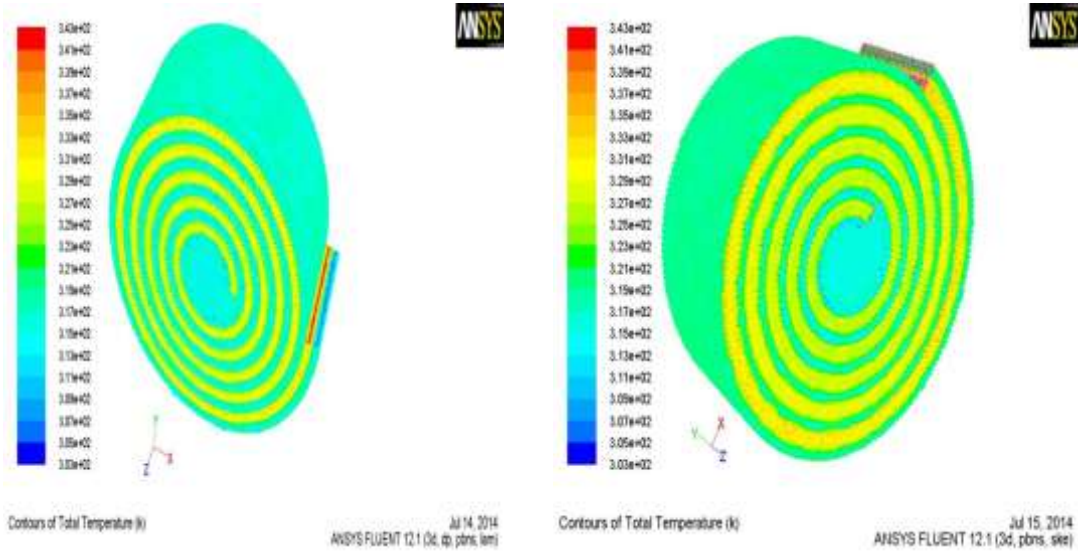


ب: جريان صفحي

أ: جريان مضطرب

الشكل (12) توزيع أشعة السرعة لدخول وخروج الماء البارد، دخول وخروج الماء الساخن (أ: مضطرب، ب: صفحي)

أما الشكل (12) يبين توزيع أشعة السرعة لدخول وخروج الماء البارد وكذلك دخول وخروج الماء الساخن في حالتي الجريان الصفحي والجريان المضطرب. تظهر القيمة الأعظمية لسرعة الماء في حالة الجريان الصفحي أصغر منها في حالة الجريان المضطرب (الأشعة أقصر) كما يتضح تعاكس الجريان (من تعاكس أشعة السرعة).

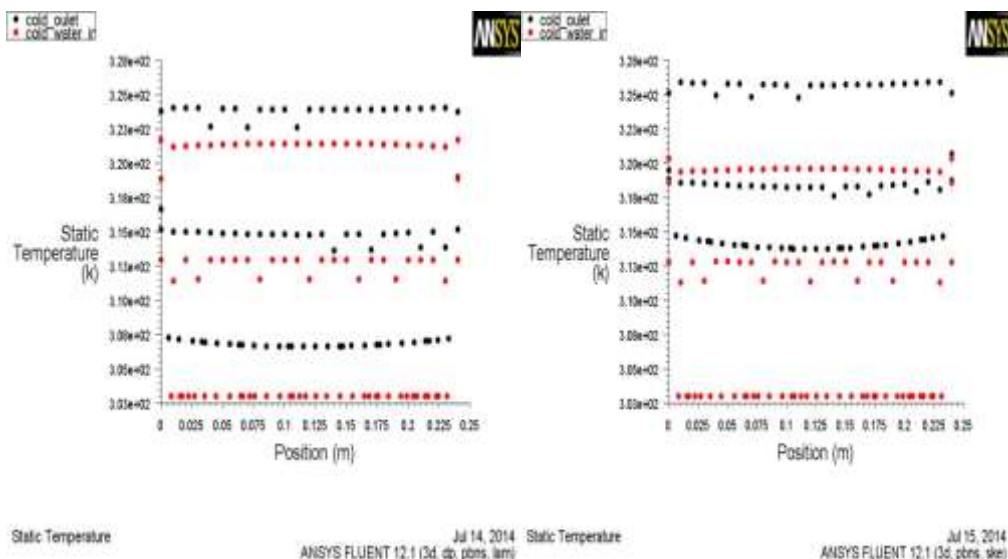


ب: جريان صفحي

أ: جريان مضطرب

الشكل (13) توزيع درجات الحرارة الكلية لجريان المائع البارد والساخن (أ: مضطرب، ب: صفحي)

من الشكل (13) نجد أن الشكل العام لتوزيع درجة الحرارة الكلية لجريان المائع البارد والمائع الساخن نفسه بالحالتين كون درجة الحرارة الكلية لجزيئات المائع لها نفس حدود الجريان (نفس البارامترين الأساسيين) عند المدخل والمخرج.

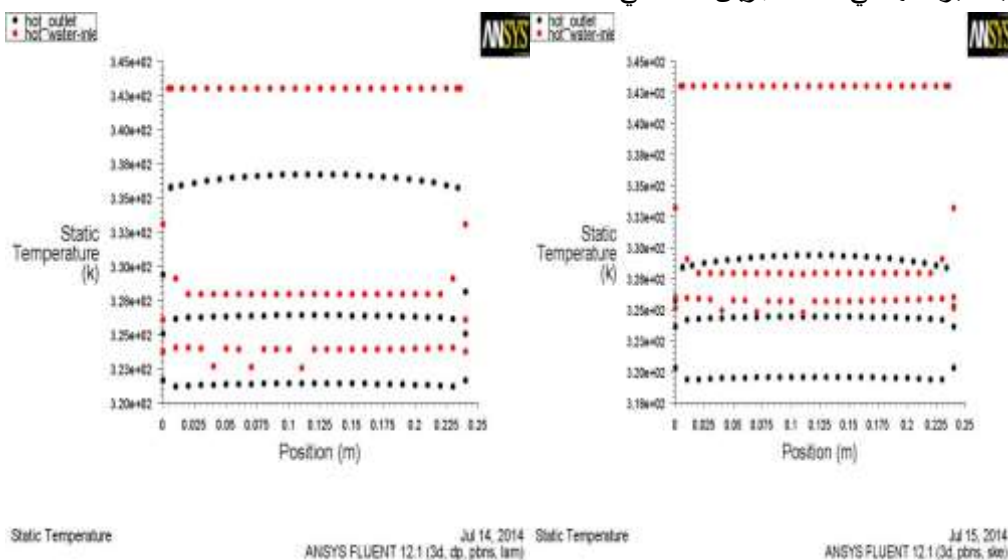


ب: جريان صفحي

أ: جريان مضطرب

الشكل (14) مخطط توزيع درجة الحرارة الستاتيكية لدخول وخروج المائع البارد (أ: مضطرب، ب: صفحي)

في الشكل (14) النقاط الحمراء تعبر عن المجال الحراري لجزيئات المائع البارد عند المدخل ويتراوح بين  $[303 \div 321 \text{ K}]$  وهو أكبر من المجال الحراري عند المخرج والممثل بالنقاط السوداء حيث يتراوح  $[308 \div 324 \text{ K}]$  وهذا طبيعي بسبب كسب المائع البارد للحرارة ونلاحظ أن اكتساب الحرارة بحالة الجريان المضطرب أكبر منها في حالة الجريان الصفحي.

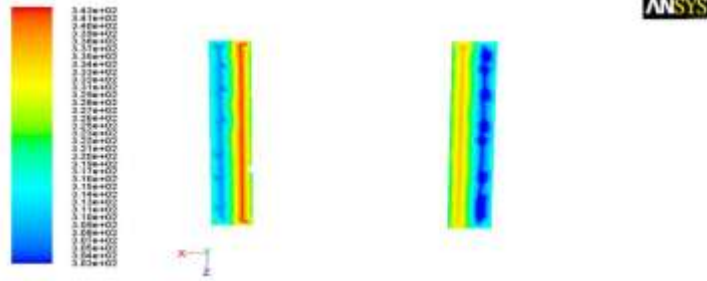


ب: جريان صفحي

أ: جريان مضطرب

الشكل (15) مخطط توزيع درجة الحرارة الستاتيكية لدخول وخروج المائع الساخن (أ: مضطرب، ب: صفحي)

يظهر الشكل (15) انخفاض المجال الحراري لجزيئات المائع في المخرج عن المدخل بسبب خسارة المائع الساخن للحرارة و المجال في حالة الجريان الصفحي ( $323 \div 337[k]$ ) أقل من المجال الحراري لحالة الجريان المضطرب ( $320 \div 329[k]$ ) .



الشكل(16) توزيع درجات الحرارة الكلية لمدخل ومخرج الماء البارد والساخن، للمبادل الحراري الحلزوني الصفاحي

يبين الشكل(16) توزيع درجات الحرارة لمدخل الماء البارد والساخن، ومخرج الماء البارد والساخن للمبادل. تمت دراسة تأثير درجة حرارة دخول المائع البارد  $T_{ci}$  و تأثير درجة حرارة دخول المائع الساخن  $T_{hi}$  ويجب التنويه إلى أن قيم درجات الحرارة سواء عند المدخل أو عند المخرج والتي أخذت من خرج البرنامج عند كل حالة ليست قيم ثابتة على كامل المدخل أو كامل المخرج ( كون الدراسة ثلاثية الأبعاد) لذلك أخذت القيمة المتوسطة بين درجة الحرارة الأعظمية ودرجة الحرارة الأصغرية سواء عند دخول المائع البارد  $T_{ci}$  أو عند خروجه  $T_{co}$ . وكذلك الأمر بالنسبة لدرجة حرارة دخول المائع الساخن  $T_{hi}$  ودرجة حرارة خروج المائع الساخن  $T_{ho}$  هي أيضاً قيم وسطية. وذلك من أجل زيادة دقة النتائج في أثناء حساب المردود الحراري والاستطاعة الحرارية.

1- تأثير درجة حرارة دخول المائع البارد  $T_{ci}$ : تم أخذ عدة قيم لدرجات حرارة دخول المائع البارد  $T_{ci}$  ومن ثم دراسة ومحاكاة كل نموذج على حدة وذلك بثبات قيمة درجة حرارة دخول المائع الساخن  $T_{hi}$  وعند نفس الشروط الحدية للمبادل الوارد ذكرها سابقاً ودراسة تأثيرها على المردود الحراري  $\eta_c$  الآخذ بعين الاعتبار تسخين المائع البارد والمردود الحراري  $\eta_h$  الآخذ بعين الاعتبار تبريد المائع الساخن، وكذلك تأثيرها على قيمة الاستطاعة الحرارية للمبادل  $Q$  وتم الحصول على القيم المبينة بالجدول (4) لحالة الجريان المضطرب والجدول (5) لحالة الجريان الصفحي. ومن ثم تم تمثيل علاقة المردود الحراري وعلاقة الاستطاعة الحرارية للمبادل كتابع لدرجات حرارة دخول المائع البارد  $T_{ci}$ .

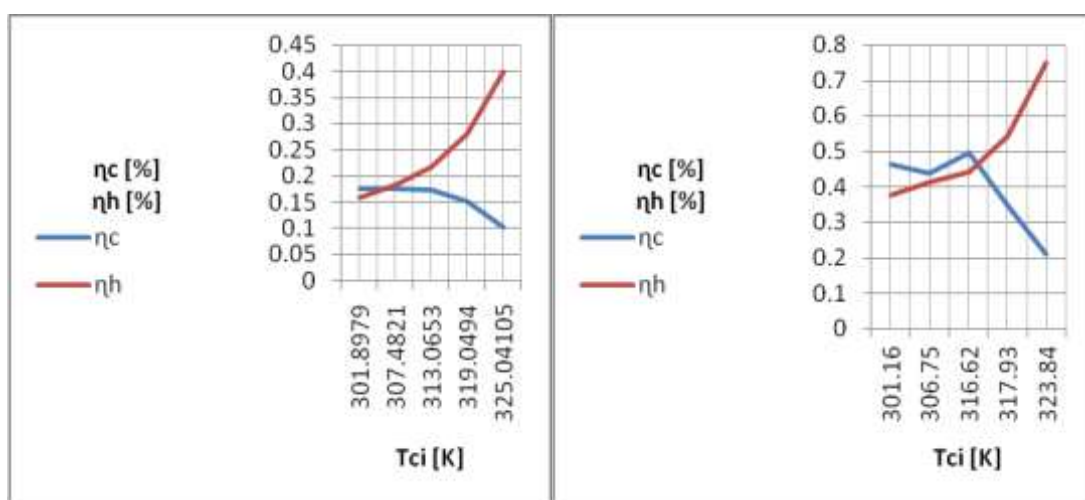
الجدول(4): قيم المردود الحراري والاستطاعة الحرارية عند درجات حرارة مختلفة لدخول المائع البارد  $T_{ci}$  (جريان مضطرب).

Q [J]	$\eta_h$	$\eta_c$	$T_{ho}[K]$	$T_{co}[K]$	$T_{hi}[K]$	$[K]T_{ci}$
46093.63	0.378223	0.462699	319.81855	315.0437	331.1712	301.1555
38436.69	0.412406	0.438432	321.5586	317.79895	331.9534	306.7482
25287.35	0.44149	0.498025	326.66	325.5723	334.5993	316.6164
22639.48	0.541957	0.346886	325.03905	323.3148	333.4458	317.934
12891.65	0.748186	0.20883	326.4378	325.9947	334.1504	323.842



الجدول(5): قيم المردود الحراري والاستطاعة الحرارية عند درجات حرارة مختلفة لدخول المائع البارد  $T_{ci}$  (جريان صفحي).

Q [J]	$\eta_h$	$\eta_c$	$T_{ho}$ [K]	$T_{co}$ [K]	$T_{hi}$ [K]	[K] $T_{ci}$
58723.51	0.157965	0.1753	324.2512	306.55155	328.4447	301.8979
49373.58	0.183416	0.174222	325.97825	311.42835	330.1328	307.4821
39872.9	0.216961	0.173497	327.6842	316.3044	331.7348	313.0635
29088.9	0.281001	0.152051	329.1288	321.18095	333.0681	319.0494
17855.41	0.399873	0.102837	330.5056	325.9775	334.1467	325.0411

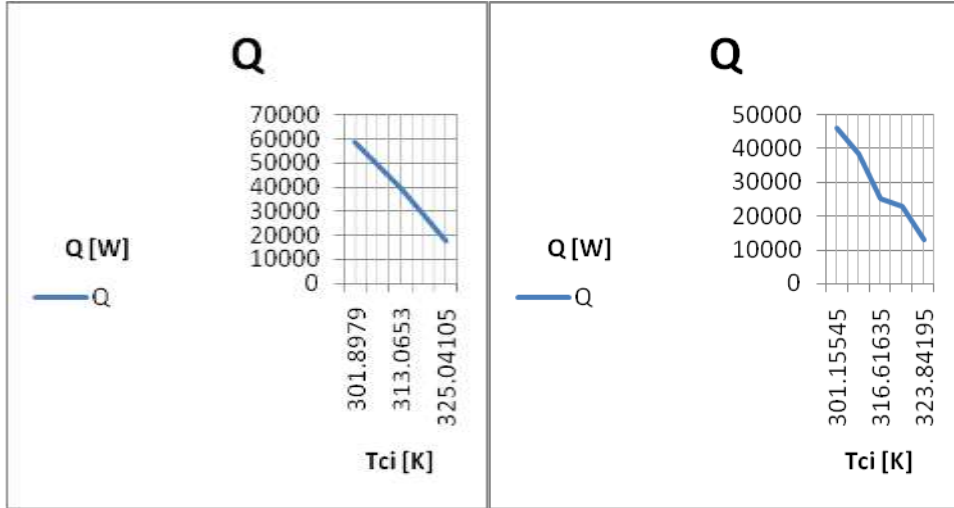


ب: جريان صفحي

أ: جريان مضطرب

الشكل(17) مخطط تأثير درجة حرارة دخول المائع البارد  $T_{ci}$  على المردود الحراري الآخذ بعين الاعتبار تسخين المائع البارد  $\eta_c$  والمردود الحراري الآخذ بعين الاعتبار تبريد المائع الساخن  $\eta_h$  (أ: مضطرب، ب: صفحي)

من الشكل (17) إن رفع درجة حرارة دخول المائع البارد  $T_{ci}$  يؤدي لارتفاع قيمة المردود الحراري  $\eta_h$  الآخذ بعين الاعتبار تبريد المائع الساخن وانخفاض قيمة المردود الحراري  $\eta_c$  الآخذ بعين الاعتبار تسخين المائع البارد في حالتي الجريان الصفحي والجريان المضطرب. القيم المثلى لدرجة حرارة دخول المائع البارد  $T_{ci}$  التي تحقق مردود حراري عالٍ ( $\eta_c$  بالإضافة لـ  $\eta_h$ ) هي ( $T_{ci} = 315 \div 317$  [K]) في حالة الجريان المضطرب، و( $T_{ci} = 302 \div 308$  [K]) للجريان الصفحي. وقيم المردود الحراري بشكل عام أكبر للجريان المضطرب.



جريان صفحي

جريان مضطرب

الشكل (18) مخطط الاستطاعة الحرارية  $Q$  للمبادل الحراري الحلزوني الصفاحي كتابع لدرجة حرارة دخول المائع البارد  $T_{ci}$  (أ: مضطرب، ب: صفحي)

في الشكل (18) تتخفض قيمة الاستطاعة الحرارية للمبادل  $Q$  بزيادة قيمة درجة حرارة دخول المائع البارد  $T_{ci}$  في حالتي الجريان المضطرب والجريان الصفحي. المبادل يعمل باستطاعة أعلى عند شروط الجريان الصفحي.

2- تأثير درجة حرارة دخول المائع الساخن  $T_{hi}$  :

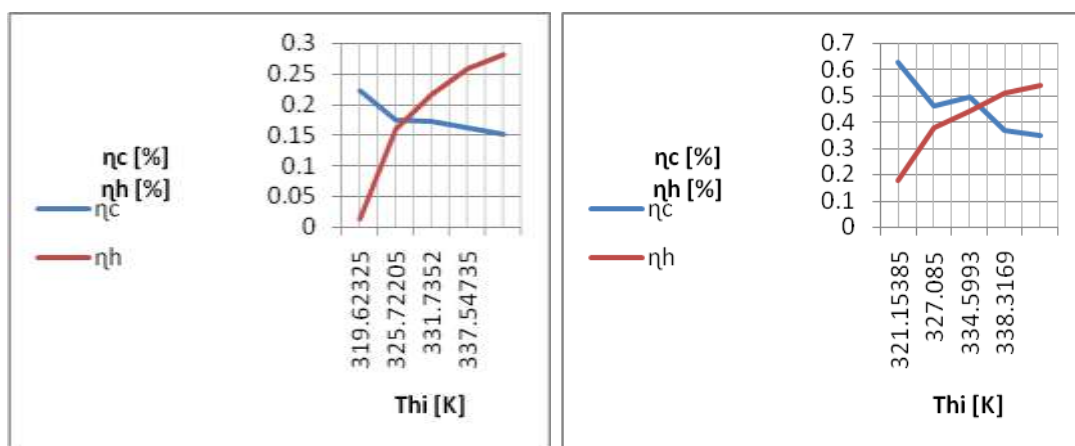
بتغيير قيم درجات حرارة دخول المائع الساخن  $T_{hi}$  ومن ثم دراسة ومحاكاة كل نموذج على حدة وذلك بثبات قيمة درجة حرارة دخول المائع البارد  $T_{ci}$  وعند نفس الشروط الحدية الوارد ذكرها أعلاه للمبادل ودراسة تأثيرها على المردود الحراري  $\eta_c$  الأخذ بعين الاعتبار تسخين المائع البارد والمردود الحراري  $\eta_h$  الأخذ بعين الاعتبار تبريد المائع الساخن، وكذلك تأثيرها على الاستطاعة الحرارية للمبادل  $Q$  تم الحصول من خرج البرنامج على القيم (في حالتي الجريان) المبينة بالجدول (6) لحالة الجريان المضطرب والجدول (7) لحالة الجريان الصفحي. وتم تمثيل علاقة المردود الحراري وعلاقة الاستطاعة الحرارية للمبادل كتابع لدرجات حرارة دخول المائع الساخن  $T_{hi}$ .

الجدول (6): قيم المردود الحراري والاستطاعة الحرارية عند درجات حرارة مختلفة لدخول المائع الساخن  $T_{hi}$  جريان مضطرب.

Q [J]	$\eta_h$	$\eta_c$	$T_{ho}$ [K]	$T_{co}$ [K]	$T_{hi}$ [K]	$T_{ci}$ [K]
14062.39	0.176627	0.629379	319.5042	317.6923	321.1539	311.8139
23037.73	0.378879	0.462514	321.399	319.0187	327.085	312.0775
25287.35	0.44149	0.498025	326.66	325.5723	334.5993	316.6164
38048.34	0.51007	0.369023	325.2024	322.0937	338.3169	312.6056
45315.18	0.541095	0.346858	327.1072	323.6315	343.8922	312.8718

الجدول(7): قيم المردود الحراري والاستطاعة الحرارية عند درجات حرارة مختلفة لدخول المائع الساخن  $T_{hi}$  جريان صفحي.

Q [J]	$\eta_h$	$\eta_c$	$T_{ho}$ [K]	$T_{co}$ [K]	$T_{hi}$ [K]	$T_{ci}$ [K]
18174.6	0.012046	0.221943	319.5294	313.5616	319.6233	311.8325
29351.15	0.158566	0.175265	323.6174	314.7753	325.7221	312.449
39873.48	0.21698	0.173493	327.6842	316.3044	331.7352	313.0653
49244.85	0.258423	0.16157	331.4712	317.8339	337.5474	314.035
58180.43	0.281125	0.152009	335.2582	319.3632	343.141	315.1008



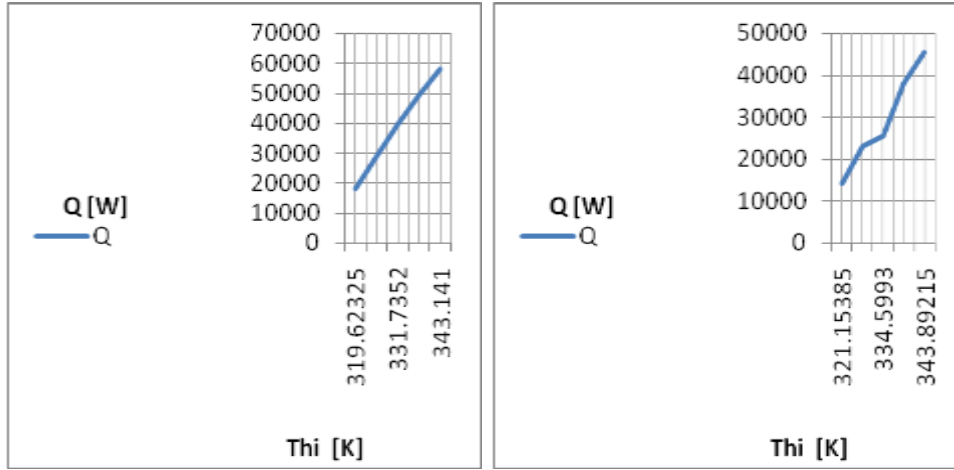
جريان صفحي

جريان مضطرب

الشكل (19) مخطط تأثير درجة حرارة دخول المائع الساخن  $T_{hi}$  على المردود الحراري الآخذ بعين الاعتبار تسخين المائع البارد  $\eta_c$  والمردود الحراري الآخذ بعين الاعتبار تبريد المائع الساخن  $\eta_h$  (أ: مضطرب، ب: صفحي)

نلاحظ من الشكل (19) أن ارتفاع درجة حرارة دخول المائع الساخن  $T_{hi}$  يرافقه ارتفاع قيمة المردود الحراري  $\eta_h$  الآخذ بعين الاعتبار تبريد المائع الساخن وانخفاض قيمة المردود الحراري  $\eta_c$  الآخذ بعين الاعتبار تسخين البارد. والقيمة المثلى لدرجة حرارة دخول المائع الساخن  $T_{hi}$  لتحقيق مردود حراري عالٍ ( $\eta_c$  بالإضافة ل  $\eta_h$ ) هي ( $T_{hi} = 335 \div 337$  [K]) بالنسبة لحالة الجريان المضطرب وهي ( $T_{hi} = 326 \div 332$  [K]) بالنسبة لحالة الجريان الصفحي وأن المبادل يعطي قيمة أعلى للمردود الحراري في حالة الجريان المضطرب.

إن مكان استخدام المبادل الحراري الحلزوني الصفائحي والغاية الإستثمارية ( الهدف تسخين المائع البارد أو تبريد المائع الساخن) هي التي تحدد القيمة المثلى سواء لدرجة حرارة دخول المائع البارد  $T_{ci}$  أو لدرجة حرارة دخول المائع الساخن  $T_{hi}$ .



جريان صفحي

جريان مضطرب

الشكل (20) مخطط الاستطاعة الحرارية  $Q$  للمبادل الحراري الحلزوني الصفاحي كتابع لدرجة حرارة دخول المائع الساخن  $T_{hi}$  (أ: مضطرب، ب: صفحي)

في الشكل (20) ترتفع قيمة الاستطاعة الحرارية للمبادل  $Q$  بزيادة قيمة درجة حرارة دخول المائع الساخن  $T_{hi}$ . في حالة الجريان المضطرب والجريان الصفحي لكنها تحقق قيمة أعلى عند الجريان الصفحي.

### الاستنتاجات والتوصيات:

أظهرت الدراسة أن:

- 1- قيمة الضغط الستاتيكي تنخفض من مدخل الجريان إلى مخرجه في حالتي الجريان (المضطرب والصفحي).
- 2- المبادل يعمل عند مجال ضغط أوسع في حالة الجريان المضطرب منه في حالة الجريان الصفحي.
- 3- قيم الضغط الديناميكي التي يتعرض لها المبادل في حالة الجريان المضطرب أكبر منها في حالة الجريان الصفحي.
- 4- قيم المردود الحراري للمبادل هي أكبر في حالة الجريان المضطرب منها في حالة الجريان الصفحي والدرجة المثلى لتحقيق أفضل مردود حراري عام ( $\eta_c$  بالإضافة ل  $\eta_h$ ) للمبادل في حالة الجريان المضطرب ( $T_{ci} = 315 \div 317 [K]$ ،  $T_{hi} = 335 \div 337 [K]$ ) وهي في حالة الجريان الصفحي ( $T_{ci} = 302 \div 308 [K]$ ،  $T_{hi} = 326 \div 332 [K]$ ).
- 5- المبادل الحراري يعمل في حالة الجريان الصفحي باستطاعة حرارية أكبر من الاستطاعة بحالة الجريان المضطرب. لهذا وبحسب الغاية الاستثمارية فإنه يفضل عمل المبادل بشروط الجريان المضطرب في حال كان الهدف هو الحصول على مردود عالٍ بينما ينصح بالعمل بشروط الجريان الصفحي في حال الهدف الحصول على استطاعة عالية.
- 6- في حالة الجريان المضطرب جزء من الطاقة الحرارية للمائع يتحول لطاقة حركية وبالتالي خسارة الحرارة أكبر في حالة الجريان المضطرب.

- 7- يمكن اعتبار هذه الدراسة دليلاً استثمارياً لعمل المبادل في منشأة صناعية بحيث تعطي فهماً لظروف جريان المائع داخل المبادل وكيفية توزيع الضغط ودرجات الحرارة على جدران المبادل وللمائع بالإضافة لمعرفة القيم المثلى لتحقيق أعلى مردود للمبادل في حال العمل بشروط الجريان المضطرب أوفي حال تم العمل بشروط الجريان الصفحي لسبب ما (عطل معين أو إمكانية تأمين تدفق محدد أوغيرها من الأسباب.....).
- 8- نوصي بإجراء بحث مخبري (تجريبي) ومقارنة النتائج المخبرية مع نتائج الدراسة النظرية.
- 9- الدراسة هنا كانت بفرض ثبات الحجم والأبعاد التصميمية للمبادل لذلك نوصي بإجراء دراسة مشابهة مع تغيير حجم المبادل وأبعاده التصميمية (ثخانة الصفحة، عدد اللفات.....) ومعرفة تأثيرها على الاستطاعة الحرارية والقيم المثلى لتحقيق مردود حراري أعظمي.

### المراجع:

- 1- WILHELMSSON, B. Consider spiral heat exchangers for fouling application, Hydrocarbon Processing. 2005, 81-83.
- 2- AHMAD, M. Thermodynamics I. uni Tishreen, Syria, 2011 , 454.
- 3- RAMACHANDRAN, S; KALAICHELVI, P; SUNDARAM, S. Heat transfer studies in a spiral plate heat exchanger for water- palm oil two phase system. Brazilian exchangers Journal of Chemical Engineering, 25(3), 2008, 483 - 490.
- 4-BALFANZ, B. ; HOPP, W. ;KONIGSDORF,W.;MAIER,K.;PLETKA,H. Erfahrungen mit Platten-und Spiral-Wärmeübertragern. GASWARME International, vol. 45, N. 6, 1996, 276-284
- 5- RODRIGUEZ, J. A. Intercambiadores de placas en espiral, Introducción a la Termodinámica con Algunas Aplicaciones Ingeniería. 2000, 692-696.
- 6-<http://pdf.directindustry.com/pdf/alfa-laval/spiral-he-general-brochure/16602-132833.html>
- 7- DONGWU, W. Geometric calculations of the spiral heat exchanger, Chemical Engineering Technology. N<sup>o</sup>.26, 2003, 592-598
- 8- BURMEISTER, L.C. Effectiveness of a spiral plate heat exchanger with equal capacitance rates. Journal of Heat Transfer, N<sup>o</sup>.128, 2006, 295-301.
- 9-ANSYS FLUENT. Theory Guide. Release12, 2009, 816.