

استخدام تقنية CFD في نمذجة ومحاكاة ثلاثية الأبعاد لتحديد كفاءة مبادل حراري حلزوني صفائحي في حالة الجريان المضطرب

لينا ابراهيم يوسف*

(تاريخ الإيداع 27 / 4 / 2014. قُبِلَ للنشر في 1 / 6 / 2014)

□ ملخص □

تم في هذا البحث استخدام تقنية Computational Fluid Dynamics (CFD) لإجراء نمذجة ومحاكاة ثلاثية الأبعاد لمبادل حراري حلزوني صفائحي Plate spiral Heat Exchanger باستخدام برنامج (ANSYS) الباقية الخاصة بالتعامل مع جريانات الموائع (FLUENT). حيث تم إيجاد مخطط توزيع السرعة وحقل الضغط وتوزيع درجات الحرارة عند شروط عمل محددة في حالة الجريان المضطرب، وتحديد تأثير طبيعة الجريان على هذه البارامترات. بالإضافة لتأثير درجات الحرارة عند المدخل والمخرج للمبادل لكل من المائع البارد والمائع الساخن على كل من المردود الحراري، والاستطاعة الحرارية من ثم كفاءة المبادل الحراري الحلزوني.

الكلمات المفتاحية: المبادلات الحرارية، الحلزوني، الصفائحي، انتقال الحرارة، تقنية (CFD)، محاكاة، نمذجة.

*عضو هيئة تعليمية (مشرفة على الأعمال) - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

The Using Of (CFD) Technique In Tridimensional Modeling and Simulation To Indentify The Efficiency Of Plate Spiral Heat Exchanger In The Case Turbulent Flow

Lina Ibrahim Youssef*

(Received 27 / 4 / 2014. Accepted 1 / 6 / 2014)

□ ABSTRACT □

In this research we have used Computational Fluid Dynamics (CFD) to perform a 3D Modeling and Simulation for a Spiral Plate Heat Exchanger by using (ANSYS) software to deal with (FLUENT). The graph or speed distribution and pressure and the changes of temperature was created in certain working conditions in the turbulent flow, and identify the nature of this flow on these parameters, in addition to the effects of temperature at the inlet and outlet of exchanger for both of the cold fluid and hot fluid on both of heat yield, thermal capacity and so the efficiency of the exchanger.

keywords: heat exchanger, spiral, plate, heat transfer, simulation, Computational Fluid Dynamics , modeling.

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

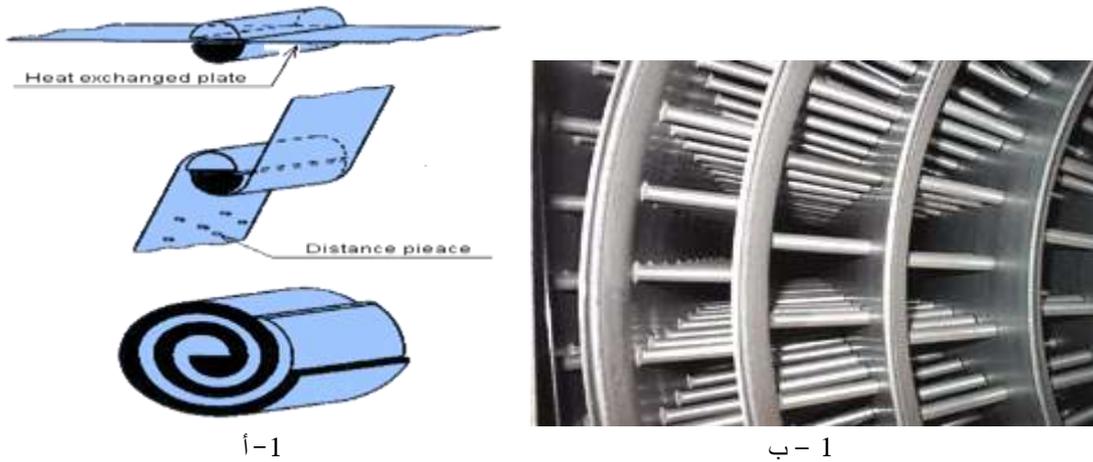
مقدمة:

تعتمد المبادلات الحرارية بأنواعها المختلفة (الصفائحية - الأنبوبية - الحلزونية) على فكرة أساسية هي مرور وسيطين (مائعين) داخل أنابيب أو ألواح بحيث يمر كل وسيط بمعزل عن الآخر، وتتم عملية تبادل الحرارة من خلال جدار المبادل الحراري بحيث لا يسمح ذلك باختلاط الوسيطين.

للمبادلات الحرارية الحلزونية معاملات انتقال حرارة عالية بسبب قنواتها الملتفة التي تمكنها من العمل لفترات طويلة دون التسبب باتساخ سريع كالمعروف في باقي أنواع المبادلات [1].

يتألف المبادل الحراري الحلزوني الصفائحي من قطعتين معدنيتين طويلتين تلتفان حول المركز مشكلتين ممرين حلزونيين هما ممران لمائعين مختلفين لهذا فالمبادلات الحرارية الحلزونية الصفائحية تمتاز بسهولة التصنيع و بناقلية عالية للحرارة وبإمكانية التنظيف الذاتي حيث وجود مسار التدفق الوحيد يقلل من اتساخ السطوح، كما إن القنوات المنحنية الملتفة تخفف من الاضطرابات وإجهادات القص بخلاف بقية الأنواع من المبادلات [2].

وتتم صناعة المبادلات الحلزونية عن طريق لف الصفائح حول نوى قلمية كما في الشكل التالي (1-أ). ويتم المحافظة على قيمة ثابتة للبعد بين الصفائح عن طريق لحام صواميل بحيث تشكل أقنية لتدفق السائل الشكل (1-ب).



الشكل (1) طريقة صنع المبادل الحراري الحلزوني الصفائحي

تستخدم هذه المبادلات في عدة مجالات مثل آلات التبريد، ومحطات توليد الطاقة، وأنظمة التدفئة والتكييف، وكذلك في صناعة الورق، والبتروكيمياويات، والأغذية والسكر، والتطبيقات ذات التبخير والتكثيف [3]. وبسبب نمط تدفق التيار المعاكس في العمليات أحادية الطور يمكن استخدام هذا المبادل في المهمات التي تتطلب كفاءة حرارية مرتفعة. كما تتميز هذه المبادلات بإمكانية نقل الحرارة ضمن حجم صغير نسبياً [4].

لقد أجرى الباحثان Egnor and Burmeister (2005) دراسة عددية للأقنية الحلزونية ذات المقاطع المستطيلة باستخدام تقنيات ديناميكيات السائل وحددا رقم Nusselt كتابع لرقم Dean، وأظهرا اعتماداً كبيراً لمعامل انتقال الحرارة على نصف القطر الحلزوني [5]. وقد وجد Burmeister (2006) حلاً تقريبياً أكثر لتحديد الكفاءة الحرارية [6]. ودرس Yang and Chiang (2002) تأثيرات رقم Dean، رقم Prandtl، رقم Reynolds ونسبة الانحناء على انتقال الحرارة من أجل انحناء متغير دورياً لأنبوب منحني داخل أنبوب مستقيم ذي قطر أكبر لتشكيل

مبادل حراري مزدوج الأنبوب. وأظهرت النتائج أن معدل تحويل الحرارة ازداد حتى 100% بالمقارنة مع الأنبوب المستقيم. وتم ارتداد كل البيانات التجريبية للحصول على ترابط رقم Nussult [7]. وتوقع (2003) Suga التدويم والتحويل الحراري في نوعين من قناة منحنية بشكل مربع U تتدفق مع انحناء خفيف وقوي، باستخدام إغلاق العزم الثاني الأحدث. تم عرض نموذج تقييد تدويم ثنائي المكون ونموذج خالٍ من انعكاس الجدران. فأظهرت النتائج أن نموذج التدويم ثنائي المكون كان موثوقاً في حالة الانحناء القوي [8].

واستخدم (2001) Huttli and Friedrich محاكاة رقمية مباشرة من أجل تدفق التدويم في أنابيب منحنية وملتفة حلزونية من أجل تحديد تأثيرات الانحناء وعزم الدوران على أنماط التدفق. وقد أظهرنا أن تبدلات التدويم قد تراجعت في الأنابيب المنحنية بالمقارنة مع الأنابيب المستقيمة. وأظهرنا أيضاً أن تأثير عزم الدوران على السرعة المحورية هو أدنى بكثير من تأثير الانحناء [10]–[9].

وقد درس (1992) Martin رقمياً خصائص انتقال الحرارة وهبوط الضغط لمبادل الحرارة ذي الصفحة الحلزونية. وكان للجهاز المستخدم في الدراسة مقطع عرضي $5 \times 300 \text{ mm}^2$ ، عدد اللفات $n=8.5$ ، قطر اللب يساوي 250 mm ، قطر خارجي يساوي 495 mm ، و 5×5 مقطع اسطواني بترتيب مستطيل على التسلسل $60 \times 50 \text{ mm}$. ومن أجل البيانات في مجال $400 < \text{Re} < 30000$ [11] تم عرض ترابط رقم نوسيلت من أجل إعدادها المحدد مع الماء كوسيط. مما سبق نجد عدم تطرق الدراسات السابقة لموضوع الدراسة الثلاثية الأبعاد للمبادل الحراري الحلزوني الصفائحي وتحديد القيم المثلى للحصول على كفاءة عالية للمبادل.

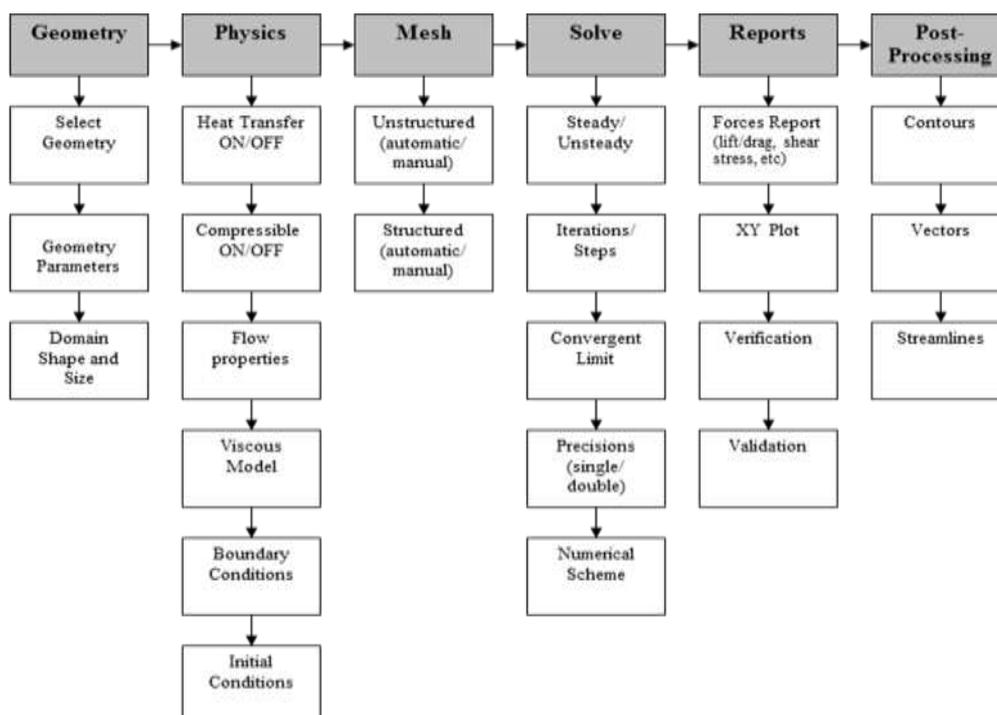
أهمية البحث وأهدافه:

تكمُن أهمية البحث في إجراء دراسة عددية ثلاثية الأبعاد للمبادل الحراري الحلزوني الصفائحي يتم فيها إيجاد مخطط توزيع الضغط الستاتيكي والديناميكي، وحقل توزيع درجات الحرارة الكلية للمائع البارد والمائع الساخن، ومخطط السرعة عند شروط عمل محددة بالإضافة إلى مخطط توزيع شدة الإضطراب. كذلك تحديد تأثير درجات حرارة دخول المائع البارد T_{ci} ودرجات حرارة دخول المائع الساخن T_{hi} على كل من المردود الحراري η_c بالإضافة ل η_h ، والاستطاعة الحرارية Q بالتالي على كفاءة المبادل الحراري الحلزوني الصفائحي بهدف تحديد القيم المثلى لهذه البارامترات التي تعمل على رفع كفاءة المبادلات الحرارية الحلزونية الصفائحية.

طرائق البحث ومواده:

تم استخدام تقنية Computational Fluid Dynamics (CFD) باستخدام برنامج (ANSYS) الباقية الخاصة بالتعامل مع جريانات الموائع (FLUENT).

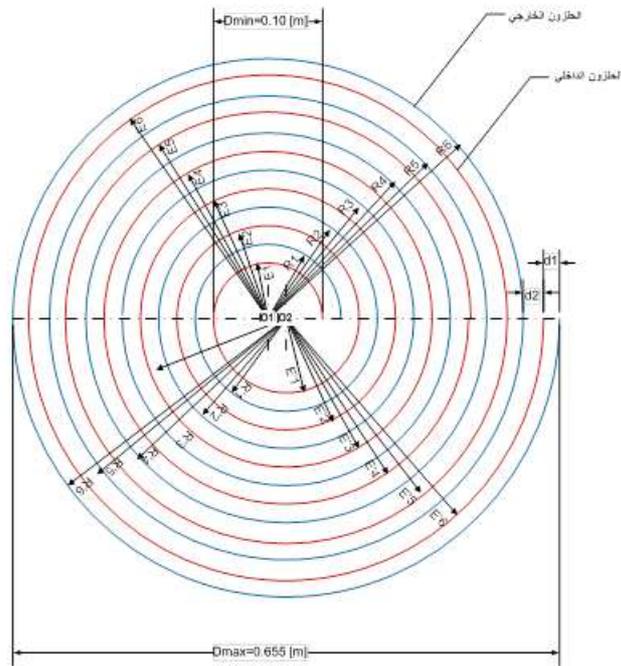
وتقنية Computational Fluid Dynamics (ديناميك السوائل الحسابي) هي عملية دراسة ومحاكاة ديناميكية بتحويل معادلات الجريان النفاضية الجزئية إلى معادلات جبرية تكاملية بإمكان الكمبيوتر الحصول على حلول تقريبية تحاكي وتقارب النتائج العملية والمخبرية. تدمج تقنية CFD النمذجة الرياضية والفيزيائية للمسائل الهندسية مع طرق التحليل الرقمي، وتستخدم في مجال الطيران، والسيارات، والمجال الطبي، والصناعات الكيماوية، والتدفئة والتكييف، والهيدروليك، والبحرية، والنفط والغاز، وتوليد الطاقة، والرياضة. اتبع في هذا البحث منهجية معتمدة بشكل عام عند العمل بطريقة CFD وفق تسلسل الخطوات كما هو مبين في الشكل (1) [12].



الشكل (2) خطوات تطبيق تقنية CFD

1- النموذج الفيزيائي:

تم في هذا البحث اختيار مبادل حراري حلزوني صفائحي كنموذج أولي للتجارب العددية متعاكس الجريان حيث يجري المائع الساخن من الداخل إلى الخارج من أجل تخفيف الضياعات الحرارية إلى الوسط الخارجي مؤلف من ست لفات. أنصاف أقطار الحلزون للمبادل الحراري الحلزوني الصفائحي كما يظهرها الشكل (3) حسبت بعلاقات تحليلية قيمها موضحة في الجدول (1). أما الجدول (2) فيبين المواصفات والشروط المستخدمة لنموذج المبادل الحراري الحلزوني الصفائحي المدروس.



الشكل (3) أنصاف أقطار الحلزون للمبادل الحراري الحلزوني الصفائحي المدروس

الجدول (1): أنصاف أقطار الحلزون لنموذج المبادل الحراري الحلزوني الصفائحي المدروس

$R_1 = 0.0725$ [m]	$E_1 = 0.05$ [m]
$R_2 = 0.11375$ [m]	$E_2 = 0.0925$ [m]
$R_3 = 0.15625$ [m]	$E_3 = 0.135$ [m]
$R_4 = 0.19875$ [m]	$E_4 = 0.1775$ [m]
$R_5 = 0.24125$ [m]	$E_5 = 0.22$ [m]
$R_6 = 0.28375$ [m]	$E_6 = 0.2625$ [m]
$R'_1 = 0.0925$ [m]	$E'_1 = 0.07125$ [m]
$R'_2 = 0.135$ [m]	$E'_2 = 0.11375$ [m]
$R'_3 = 0.1775$ [m]	$E'_3 = 0.15625$ [m]
$R'_4 = 0.22$ [m]	$E'_4 = 0.19875$ [m]
$R'_5 = 0.2625$ [m]	$E'_5 = 0.24125$ [m]
$R'_6 = 0.305$ [m]	$E'_6 = 0.28375$ [m]

الجدول(2): المواصفات والشروط المستخدمة لنموذج المبادل الحراري الحلزوني الصفائحي

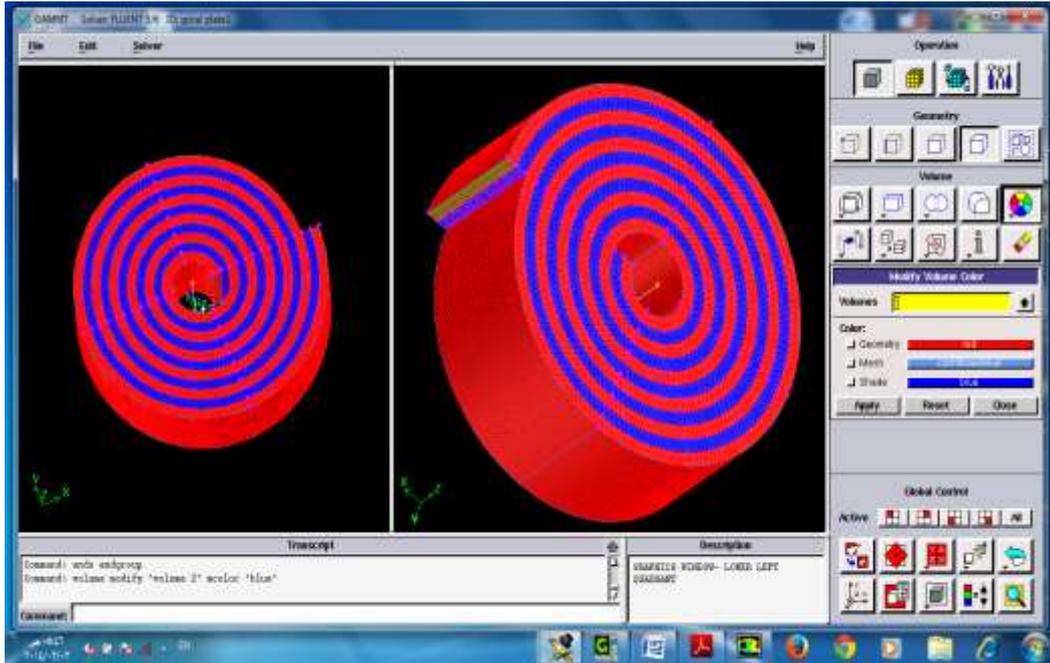
$D_{max} = 0.655 [m]$	القطر الأعظمي
$D_{min} = 0.10 [m]$	القطر الأصغري
$h_g = 0.24 [m]$	الإرتفاع
$d_w = 0.00125 [m]$	ثخانة الصفيحة
$T_{ci} = 30 [c^\circ]$	درجة حرارة دخول المائع البارد
$T_{hi} = 70 [c^\circ]$	درجة حرارة دخول المائع الساخن
ماء - ماء	المائع المستخدم

1- النمذجة العددية:

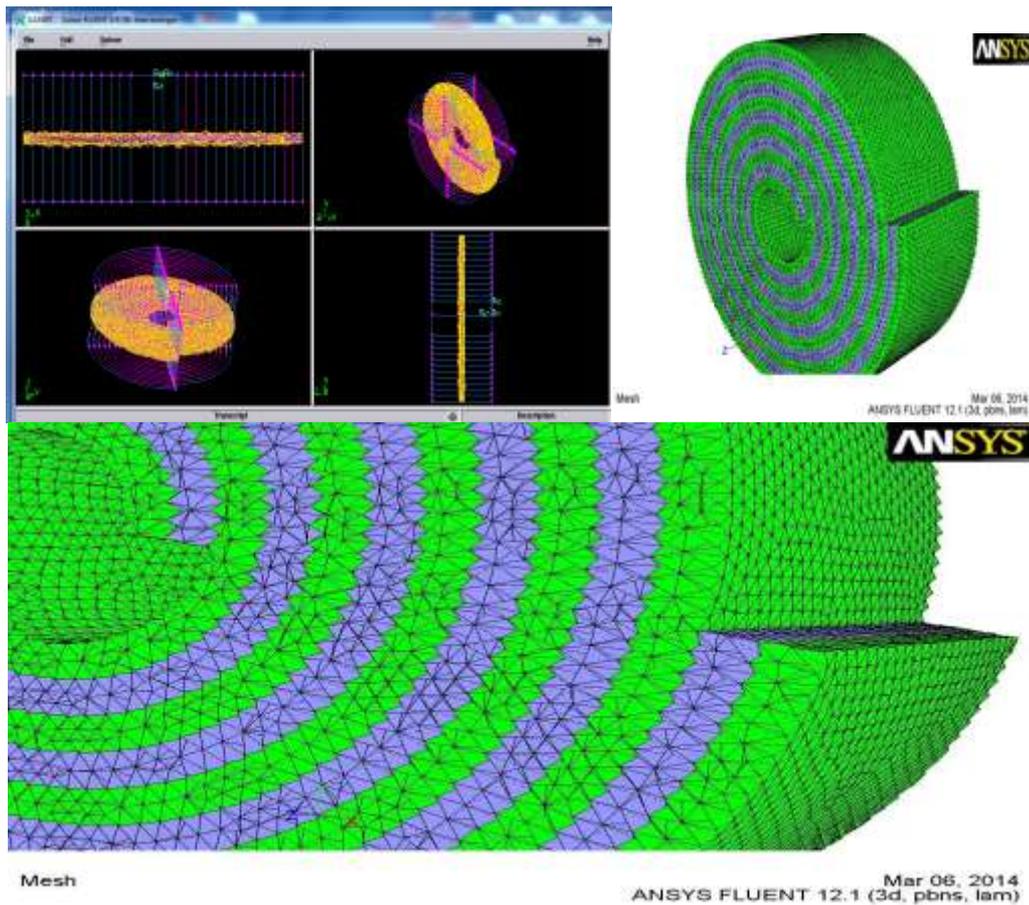
تم في هذا البحث الرسم والإنشاء للنموذج الهندسي للمبادل الحراري الحلزوني الصفائحي ذي الأبعاد والقياسات السابقة بمساعدة برنامج GAMBIT ابتداءً من تحديد إحداثيات النقاط والوصل بينها لإعطاء الحواف ومن ثم تحويلها إلى سطوح، ولاحقاً تم تحويل السطوح إلى حجوم ومن ثم التقسيم إلى شبكة من العناصر المنتهية المحدودة (القطاعات الصغيرة) MESH بشكل هرمي أن التقسيم الهرمي يناسب شكل المبادل الحلزوني ويغطي السطح كله وخاصة الجزء الداخلي (عمق المبادل) وذلك بمسافة تقسيم بين العقد $Spacing=0.01[m]$. نلاحظ أن عدد العناصر 198594 عنصر وهذا يعطي دقة في النتائج أكبر وإن كان زمن الحل أطول.

إن الشكل (3) يظهر صورة لنموذج المبادل الحراري الحلزوني الصفائحي بعد انجازه ضمن ال GAMBIT. ومن ثم يصبح جاهزاً لتصديره إلى برنامج ANSYS الباقية الخاصة بالتعامل مع جريانات الموائع FLUENT. يظهر الشكل (4) أشكال الميش الحجمي (الدراسة ثلاثية الأبعاد) للمبادل الحلزوني الصفائحي المدروس ضمن ال ANSYS. حيث تمت تجزئة النموذج إلى عدد كبير من العناصر المنتهية.

ويوضح الجدول (3) الشروط الحدية المستخدمة لنموذج المبادل الحراري الحلزوني الصفائحي. في حين يبين الجدول (4) الخواص الفيزيائية والترموديناميكية للماء الذي استخدم كوسيط حراري ضمن المجريين الساخن والبارد بحسب درجات الحرارة المستخدمة. أما الجدول(5) فيظهر الخواص الفيزيائية والترموديناميكية لمادة صنع صفائح المبادل الحراري الحلزوني وهي الكروم Cromium.



الشكل(3) مبادل حراري حلزوني صفائحي بعد رسم وانجاز الميش ضمن ال GAMBIT



الشكل(4) الميش لمبادل حراري حلزوني صفائحي

الجدول(3): الشروط الحدية المستخدمة لنموذج المبادل الحراري الحزوني الصفائحي المدروس

الشروط الحدية	
$T_{ci} = 30 [c^{\circ}]$	درجة حرارة دخول المائع البارد
$T_{hi} = 70 [c^{\circ}]$	درجة حرارة دخول المائع الساخن
$T_{av} = 50 [c^{\circ}]$	درجة حرارة الجدار (مادة الصنع)
$V_1 = 0.5 [m/s]$	سرعة دخول المائع البارد
$V_2 = 0.2 [m/s]$	سرعة دخول المائع الساخن
$P_1 = P_2 = 1 [atm]$	الضغط

الجدول(4): الخواص الفيزيائية والترموديناميكية للماء البارد والساخن ضمن المبادل الحراري الحزوني الصفائحي

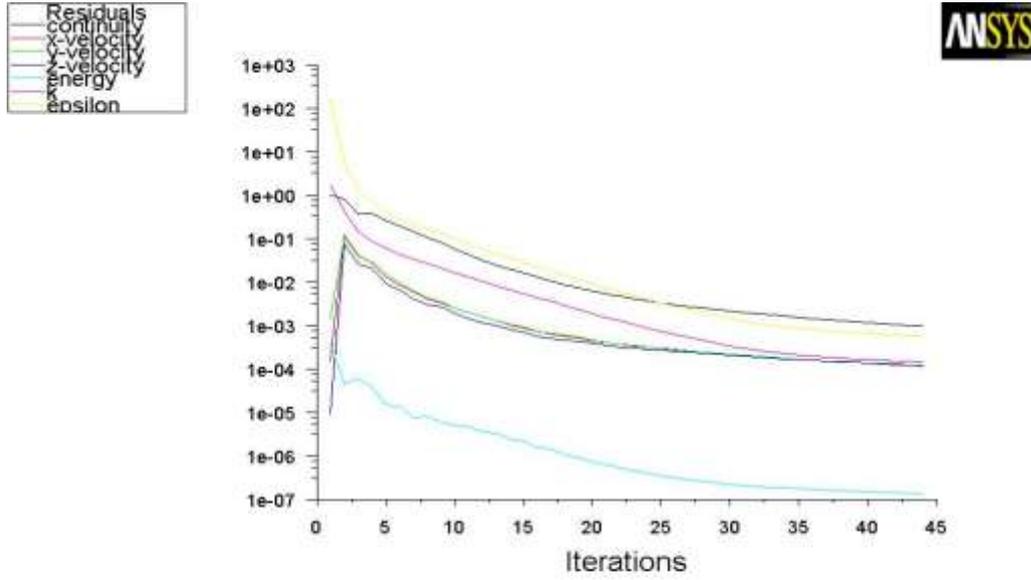
الخواص الفيزيائية والترموديناميكية للماء البارد والساخن			
	$T_{ci} = 30 [c^{\circ}]$	$T_{hi} = 70 [c^{\circ}]$	
ρ	$995.7 [kg/m^3]$	$977.8 [kg/m^3]$	الكثافة النوعية
C_p	$4183 [J/kg.K]$	$4187 [J/kg.K]$	السعة الحرارية النوعية
λ	$0.603 [W/m.K]$	$0.6495 [W/m.K]$	الإبصالية الحرارية
μ	$0.0007977 [kg/m.s]$	$0.000404 [kg/m.s]$	اللزوجة التحركية
m'	$2.39 [kg/s]$	$0.9387 [kg/s]$	التدفق الكتلي
R_e	23042	17870	رقم رينولدز
P_r	5.534	2.605	رقم برانتل
α	$2053 [W/m^2.K]$	$1404 [W/m^2.K]$	الحمل الحراري

الجدول(5): الخواص الفيزيائية والترموديناميكية للكروم مادة صنع صفائح المبادل الحراري الحزوني الصفائحي

الخواص الفيزيائية والترموديناميكية للكروم $T_{av} = 50 [c^{\circ}]$	
$\rho = 7157 [kg/m^3]$	الكثافة النوعية
$C_p = 0.4571 [J/kg.K]$	السعة الحرارية النوعية
$\lambda = 93.05 [W/m.K]$	الإبصالية الحرارية

النتائج والمناقشة:

بعد تزويد البرنامج بالبارامترات المطلوبة وإجراء جملة من التغييرات المطلوبة لأساليب وخوارزميات الحل المتاحة والبدء بالحل العددي بإعطاء الأمر SOLVE وبأخذ عدد مرات التكرار 100 مرة والدقة المطلوبة بإيجاد الحل تساوي (0.001) لمعادلات الجريان ومعادلات الاضطراب وتساوي (1.10^{-6}) لمعادلة الطاقة يمكننا الآن الحصول على النتائج البدائية للمحاكاة الثلاثية الأبعاد لكل من مخطط توزيع الضغط وتوزيع السرعة وحقل توزيع درجات الحرارة ضمن صفائح المبادل الحراري الحزوني الصفائحي في حالة جريان متعاكس، مضطرب $(R_{ec}, R_{eh}) > R_{ekrit}$

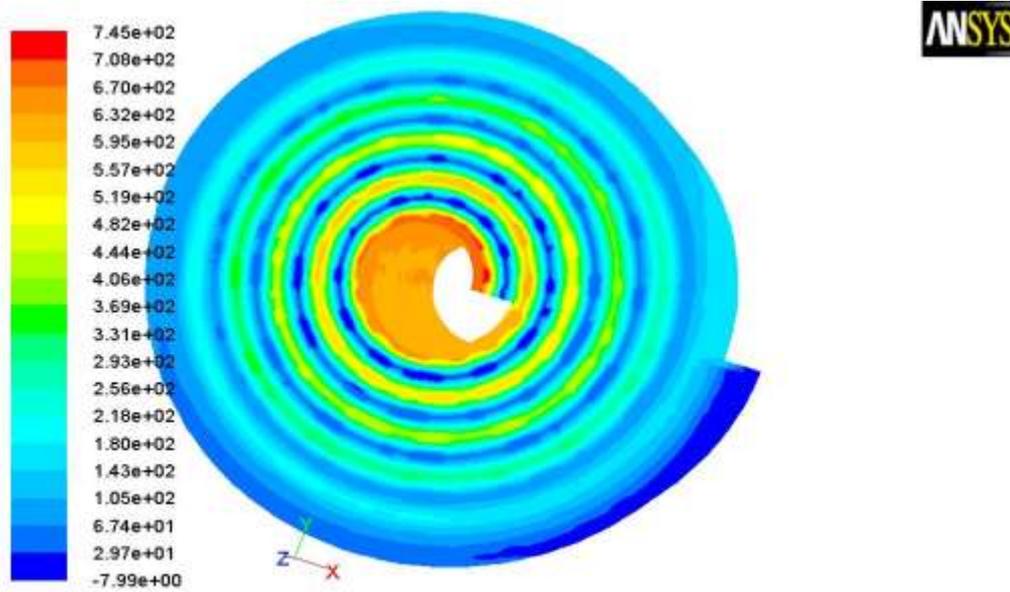


Scaled Residuals

Mar 09, 2014
ANSYS FLUENT 12.1 (3d, pbns, ske)

الشكل (5) مسار تقارب الحل لمعادلات الجريان لمحاكاة ثلاثية الأبعاد للمبادل الحراري الحلزوني الصفائحي (جريان مضطرب)

يبين الشكل (5) مسار تقارب دقة الحل لمعادلات الجريان (معادلة الإستمرار، السرعة بالإتجاه X، السرعة بالاتجاه y، السرعة بالاتجاه z، معادلة الطاقة، معادلة الاضطراب).

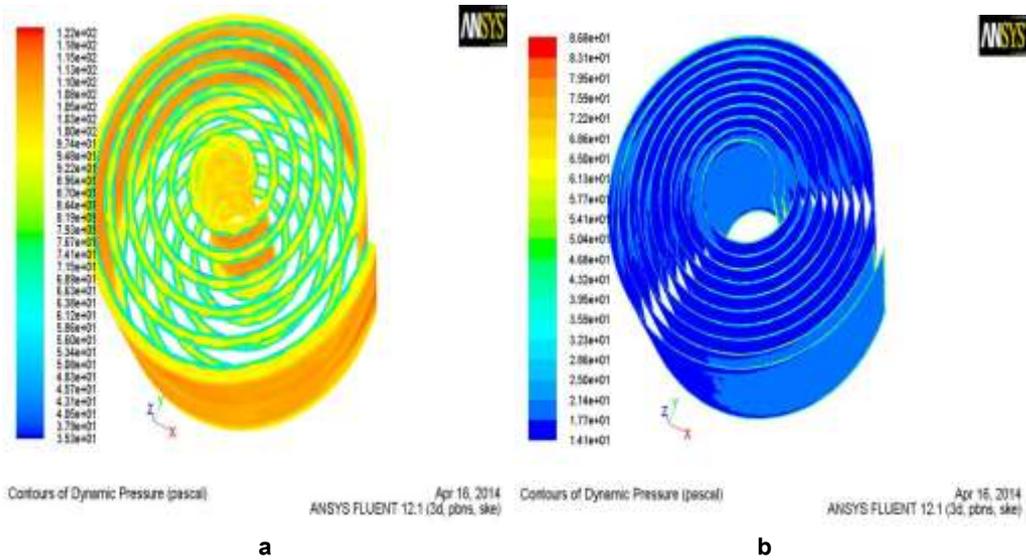


Contours of Static Pressure (pascal)

Apr 16, 2014
ANSYS FLUENT 12.1 (3d, pbns, ske)

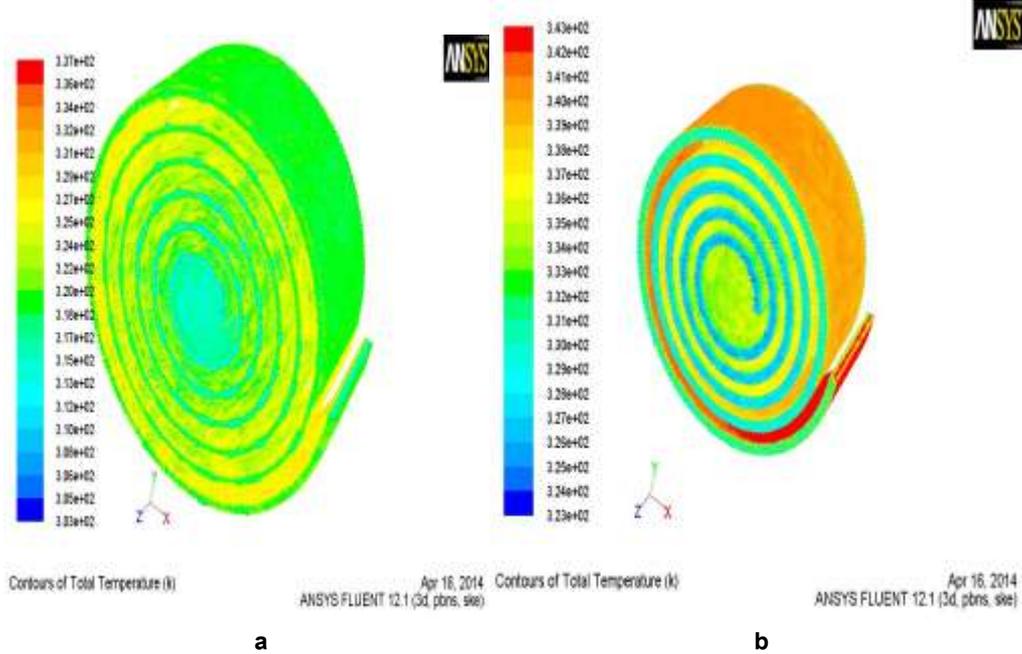
الشكل (6) توزيع خطوط الضغط الستاتيكي كسطوح مناسب عند الجدار

يعطي الشكل (6) صورة واضحة لتوزيع خطوط الضغط الستاتيكي كسطوح مناسيب عند الجدار (الحائط) مقدرة بالباسكال. إذ نستفيد من التمايز اللوني لنوضح القيم العليا للبارامتر عن القيم الدنيا، وقيم النتائج موجودة ضمن جدول بتدرج لوني على يسار الشكل حيث يظهر انخفاضاً في الضغط الستاتيكي من مدخل الجريان إلى مخرجه.



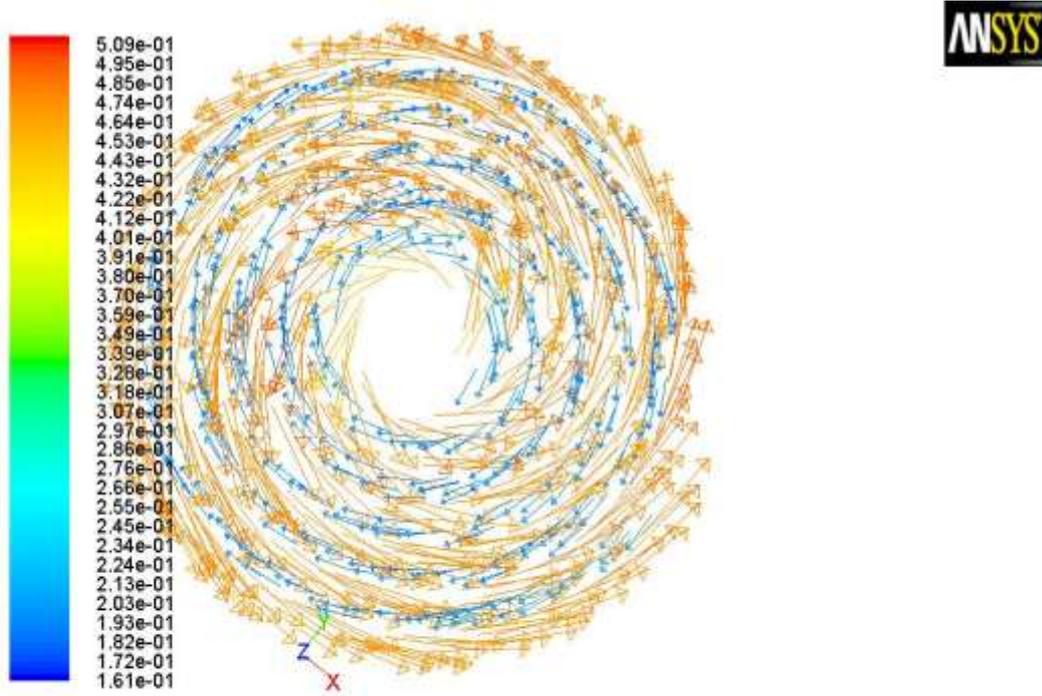
الشكل (7) توزيع خطوط الضغط الديناميكي كسطوح مناسيب **a** عند الجدار الخارجي **b** عند الجدار الداخلي

بينما يظهر الشكل (7) توزيع خطوط الضغط الديناميكي عند الجدار الداخلي **b** وخطوط الضغط الديناميكي عند الجدار الخارجي **a** كسطوح مناسيب CONTOURS. نلاحظ أن الضغط الديناميكي المؤثر على الجدار الخارجي أكبر من الضغط الديناميكي المؤثر على الجدار الداخلي للمبادل (وهذا يؤثر على الدراسة التصنيعية بمعنى مادة صنع صفائح المبادل).



الشكل (8) توزيع درجات الحرارة الكلية خطوط CONTOURS لجريان المائع البارد **a**، ولجريان المائع الساخن **b**

أما الشكل (8) فيبين توزيع درجات الحرارة الكلية CONTOURS لجريان المائع البارد **a** (حيث تأخذ درجات الحرارة القيمة من 303 [K] عند المدخل وتصل حتى 322 [K] عند الخروج). كما يبين توزيع درجات الحرارة الكلية CONTOURS لجريان المائع الساخن **b** (حيث يبين دخول الماء الساخن بدرجة حرارة تساوي 343 [K] وخروجه بحوالي 323 [K]). و يبين تمايز الألوان أن ذرات الماء تخسر الحرارة بشكل متجانس (منتظم) تقريباً حيث كل ذرات الماء عند الخروج لها درجة الحرارة نفسها.

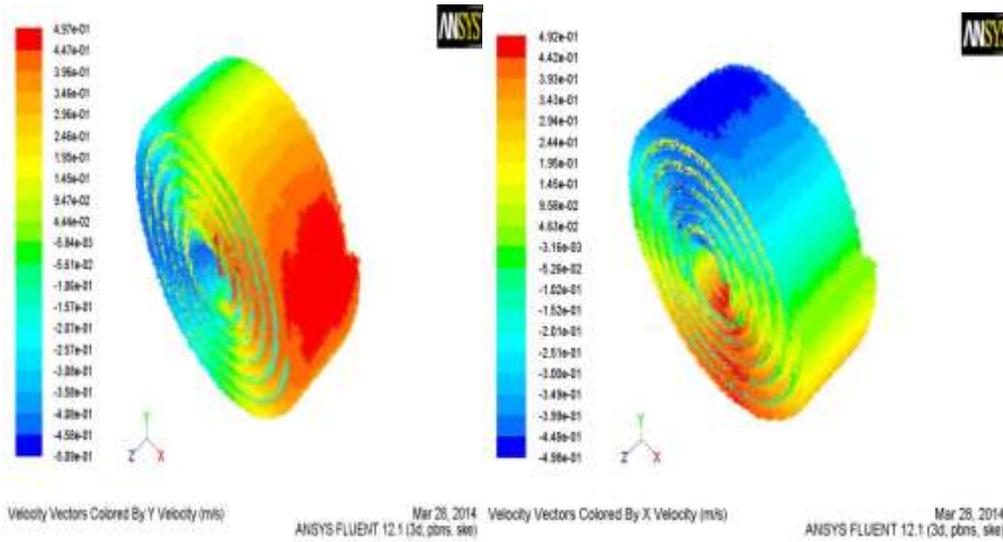


Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

Apr 16, 2014
ANSYS FLUENT 12.1 (3d, pbns, ske)

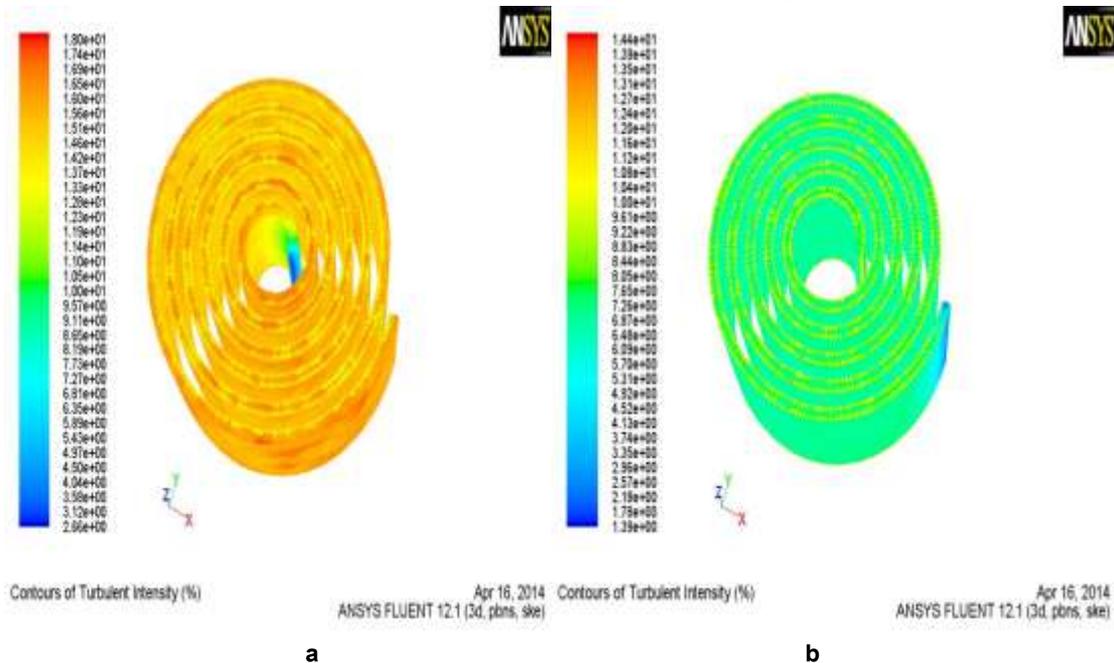
الشكل(9) توزيع أشعة السرعة VECTORS لجريان المائع البارد ولجريان المائع الساخن عند مقطع $Z = 0.1$

الشكل(9) يبين توزيع أشعة السرعة VECTORS لجريان المائع البارد ولجريان المائع الساخن عند مقطع $Z = 0.1$ حيث نلاحظ خطوط الأشعة الكلية بشكل متعاكس لكل من جريان المائع البارد وجريان المائع الساخن.



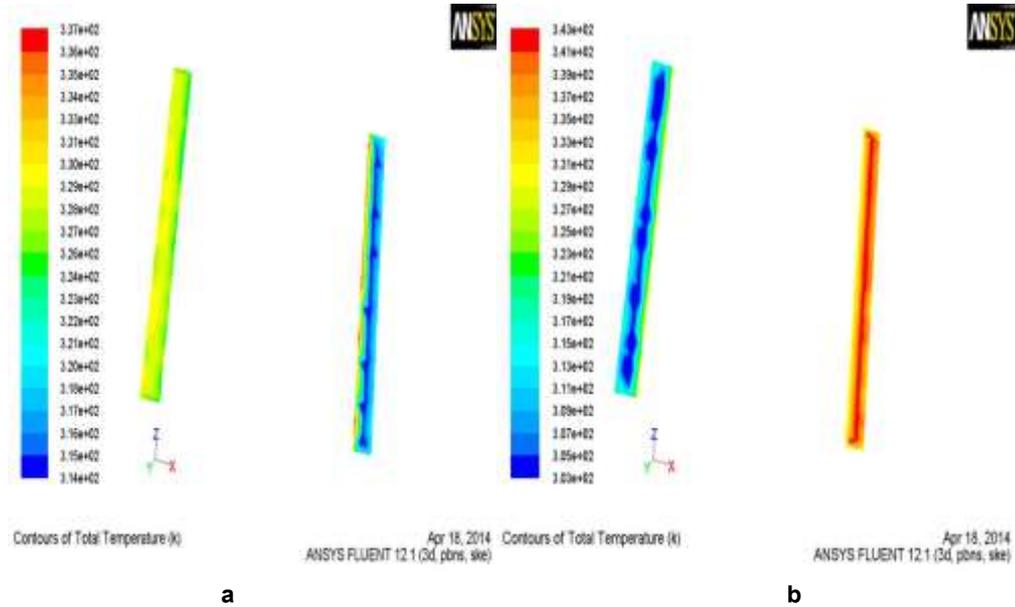
الشكل (10) توزيع أشعة السرعة VECTORS على المحور X ، b على المحور Y

يوضح الشكل (10) توزيع أشعة السرعة VECTORS مركبة السرعة الشاقولية a، مركبة السرعة الأفقية b. نلاحظ حقول سرعة دنيا في جهة من المبادل وحقول سرعة عليا في الجهة المقابلة من ثم يمكن أن نتنبأ بإمكان وجود قيم سرع دنيا للجريان في حال حدث والذي يفيد بتحديد العوامل الآتية: تشكل الطبقة الحدية للجريان، احتمال زيادة تشكل الترسبات في هذه المنطقة، بالإضافة إلى احتمال انعكاس الجريان لبعض جزيئات الماء فهي لا تتابع مسارها بل تعود لتعكس الجريان على الأطراف.



الشكل (11) توزيع خطوط شدة الاضطراب CONTOURS للمائع البارد a، وللمائع الساخن b

يبين الشكل (11) توزيع خطوط CONTOURS شدة الاضطراب Turbulent Intensity للمائع البارد a، وللمائع الساخن b. نلاحظ أن اضطراب الجريان للمائع البارد أصغر ما يمكن عند المدخل وتزداد طاقته الاضطرابية مع خروجه من المبادل (عند المدخل 2.66% وعند المخرج 18%). يوجد قفزة عند المدخل إذ يزداد اضطراب المائع عند المدخل وبعدها يتابع بالشدة نفسها؛ أي يصبح منتظماً حتى المخرج وهذا بسبب الشكل المنتظم للمبادل.



الشكل (12) توزيع درجات الحرارة لمدخل الماء البارد والساخن a، ومخرج الماء البارد والساخن b للمبادل الحراري الحلزوني الصفائحي

الشكل (12) يبين توزيع درجات الحرارة لمدخل الماء البارد ومدخل الماء الساخن للمبادل (a) ويبين توزيع درجات الحرارة لمخرج الماء البارد ومخرج الماء الساخن للمبادل (b). عند الدراسة ثلاثية الأبعاد للمبادل نلاحظ أن درجات الحرارة ليست ثابتة تماماً بل تتراوح بين قيمة دنيا وقيمة عظمى عند كل مدخل أو مخرج سواء للمائع البارد أو الساخن، ويرجع ذلك إلى طبيعة عمل المبادل وكذلك انتقال الحرارة وضياعاتها مع استمراره بالعمل الطبيعي.

1- تأثير درجة حرارة دخول المائع البارد T_{ci} :

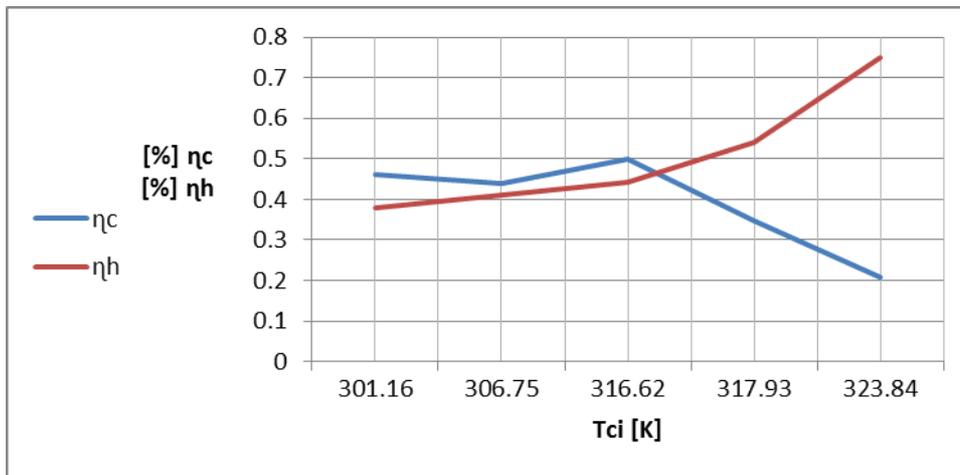
تم أخذ عدة قيم لدرجات حرارة دخول المائع البارد T_{ci} من أجل إيجاد تأثير درجة حرارة دخول المائع البارد T_{ci} ومن ثم دراسة ومحاكاة كل نموذج على حدة وذلك بثبات قيمة درجة حرارة دخول المائع الساخن T_{hi} وعند الشروط الحدية نفسها الوارد ذكرها في الجدول (3) للمبادل ودراسة تأثيرها على المردود الحراري η_c الآخذ بعين الاعتبار تسخين المائع البارد والمردود الحراري η_h الآخذ بعين الاعتبار تبريد المائع الساخن، وكذلك تأثيرها على قيمة الاستطاعة الحرارية للمبادل Q فتم الحصول على القيم المبينة بالجدول (6).

الجدول(6): قيم المردود الحراري والإستطاعة الحرارية عند درجات حرارة مختلفة لدخول المائع البارد T_{ci} .

$Q [J]$	η_h	η_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

تم تمثيل علاقة المردود الحراري وعلاقة الإستطاعة الحرارية للمبادل كتابع لدرجات حرارة دخول المائع البارد

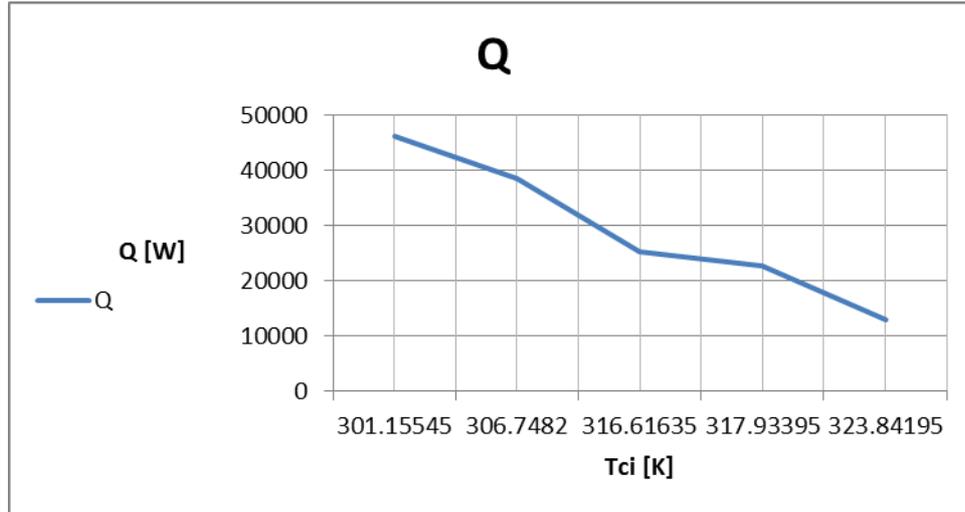
T_{ci} بالاعتماد على القيم المأخوذة من خرج البرنامج والمبينة بالجدول (6).



الشكل(13) مخطط تأثير درجة حرارة دخول المائع البارد T_{ci} على المردود الحراري الآخذ

بعين الاعتبار تسخين المائع البارد η_c والمردود الحراري الآخذ بعين الاعتبار تبريد المائع الساخن η_h

نلاحظ من الشكل (13) كيفية مرافقة رفع درجة حرارة دخول المائع البارد T_{ci} ارتفاع قيمة المردود الحراري η_h الآخذ بعين الاعتبار تبريد المائع الساخن وانخفاض قيمة المردود الحراري η_c الآخذ بعين الاعتبار أيضاً تسخين المائع البارد. القيم المثلثى لدرجة حرارة دخول المائع البارد T_{ci} التي تحقق مردوداً حرارياً عالياً (η_c) بالإضافة لـ (η_h) هي $(T_{ci} = 315 \div 317 [K])$.



الشكل (14) مخطط الإستطاعة الحرارية Q للمبادل الحراري الحلزوني الصفائحي كتابع لدرجة حرارة دخول المائع البارد T_{ci}

يبين الشكل (14) انخفاض قيمة الاستطاعة الحرارية للمبادل Q مع ازدياد قيمة درجة حرارة دخول المائع البارد T_{ci} . ويجب التنويه إلى أن قيم درجات الحرارة سواء عند المدخل أو عند المخرج والتي أخذت من خرج البرنامج عند كل حالة ليست قيماً ثابتة على كامل المدخل أو كامل المخرج (لأن 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 أثناء حساب المردود الحراري والاستطاعة الحرارية.

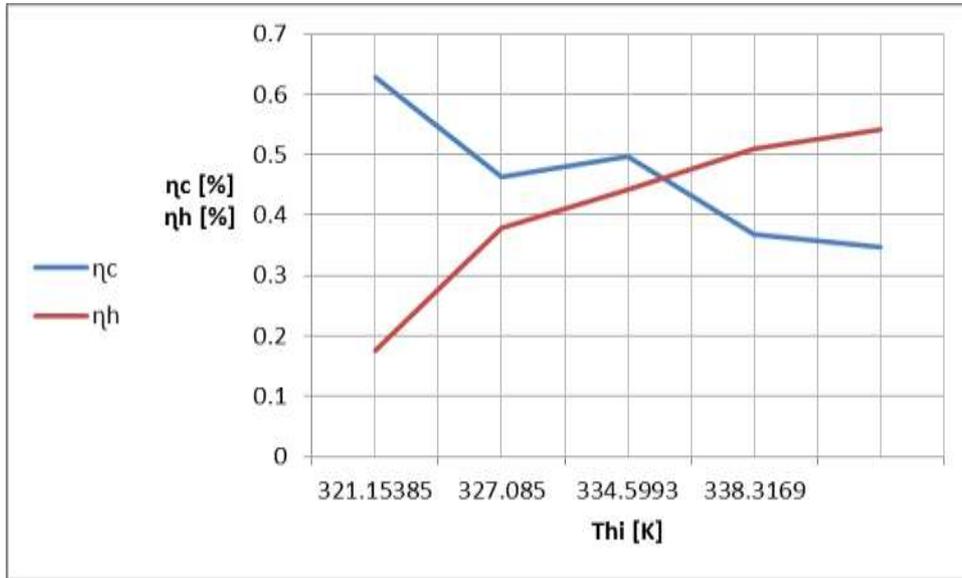
1- تأثير درجة حرارة دخول المائع الساخن T_{hi} :

تم أخذ عدة قيم لدرجات حرارة دخول المائع الساخن T_{hi} من أجل إيجاد تأثير درجة 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 الشروط الحدية نفسها الوارد ذكرها في الجدول (3) للمبادل ودراسة تأثيرها على المردود الحراري η_c الآخذ بعين الاعتبار تسخين المائع البارد والمردود الحراري η_h الآخذ بعين الاعتبار تبريد المائع الساخن، وكذلك تأثيرها على الاستطاعة الحرارية للمبادل Q .

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

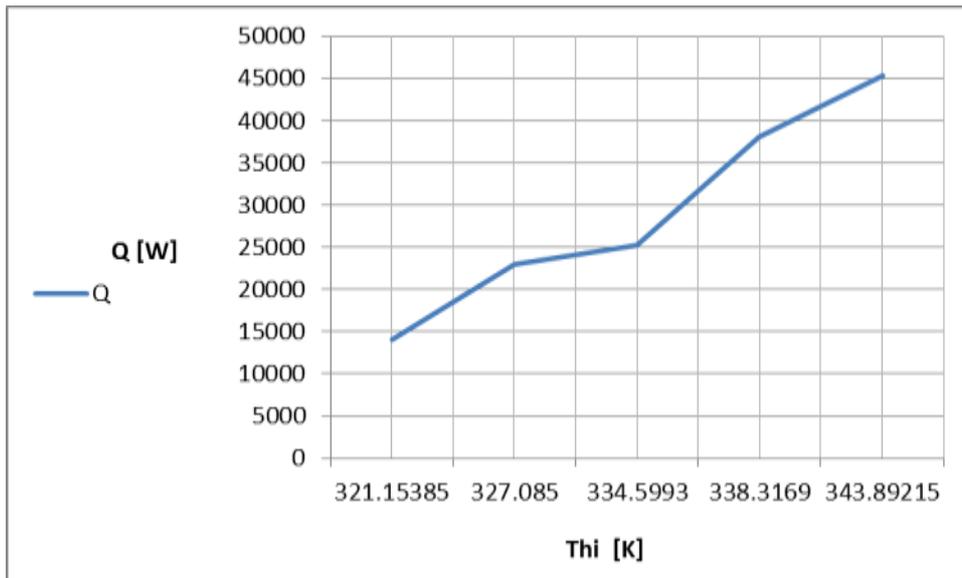
$Q [J]$	η_h	η_c	$T_{ho} [K]$	$T_{co} [K]$	$T_{hi} [K]$	$T_{ci} [K]$
14062.39	0.176627	0.629379	319.5042	317.6923	321.1539	311.8139
23037.73	0.378879	0.462514	321.399	319.0187	327.085	312.0775
25287.35	0.44149	0.498025	326.66	325.5723	334.5993	316.6164
38048.34	0.51007	0.369023	325.2024	322.0937	338.3169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

تم تمثيل علاقة المردود الحراري وعلاقة الاستطاعة الحرارية للمبادل كتابع لدرجات حرارة دخول المائع الساخن T_{hi} بالاعتماد على القيم المأخوذة من خرج البرنامج والمبينة في الجدول (7).



الشكل (15) مخطط تأثير درجة حرارة دخول المائع الساخن T_{hi} على المردود الحراري الآخذ بعين الاعتبار تسخين المائع البارد η_c والمردود الحراري الآخذ بعين الاعتبار تبريد المائع الساخن η_h

نلاحظ من الشكل (15) كيفية مرافقة ارتفاع درجة حرارة دخول المائع الساخن T_{hi} ارتفاع قيمة المردود الحراري η_h الآخذ بعين الاعتبار تبريد المائع الساخن وانخفاض قيمة المردود الحراري η_c والآخذ بعين الاعتبار تسخين المائع البارد. والقيمة المثلى لدرجة حرارة دخول المائع الساخن T_{hi} لتحقيق مردودٍ حراريٍّ عالي (η_c بالإضافة ل η_h) هي ($T_{hi} = 335 \div 337 [K]$).



الشكل (16) مخطط الإستطاعة الحرارية Q للمبادل الحراري الحلزوني الصفاحي كتابع لدرجة حرارة دخول المائع الساخن T_{hi}

يبين الشكل (16) ارتفاع قيمة الاستطاعة الحرارية للمبادل Q مع ازدياد قيمة درجة حرارة دخول المائع الساخن T_{hi} . أيضاً هنا قيماً درجات الحرارة سواء عند المدخل أو عند المخرج التي 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 لتحقيق الدقة في النتائج أثناء حساب المردود الحراري والاستطاعة الحرارية. وتجب الإشارة إلى أن مكان استخدام المبادل الحراري الحلزوني الصفائحي والغاية الاستثمارية (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} .

الاستنتاجات والتوصيات:

بينت الدراسة انخفاض قيمة الضغط الستاتيكي من مدخل الجريان إلى مخرجه. و أن قيمة الضغط الديناميكي المؤثر على الجدار الخارجي أكبر من قيمة الضغط الديناميكي المؤثر على الجدار الداخلي للمبادل. كما أظهرت الدراسة وجود انخفاض متجانس (متدرج) لدرجة الحرارة الكلية لجزيئات الماء مع حركتها عبر جدران المبادل. وأنه توجد مناطق حقول للسرعة العليا وحقول للسرعة الدنيا ضمن المبادل ، فيجب الانتباه إليها عند التصنيع والصيانة. و تكون شدة الاضطراب Turbulent Intensity لجريان المائع البارد أصغر ما يمكن عند المدخل، وتزداد طاقته الاضطرابية مع خروجه من المبادل.

وتبين من الدراسة أنه بتخفيض درجة حرارة دخول المائع البارد T_{ci} تزداد الاستطاعة الحرارية Q للمبادل الحراري الحلزوني ويتحسن المردود الحراري η_c الآخذ بعين الاعتبار تسخين المائع البارد، وأن الدرجة المثلى لتحقيق أفضل مردود حراري عام (η_c بالإضافة ل η_h) للمبادل الحراري الحلزوني الصفائحي هي من أجل حالتنا المدروسة $(T_{ci} = 315 \div 317 [K])$.

كما تبين أنه برفع درجة حرارة دخول المائع الساخن T_{hi} تزداد الاستطاعة الحرارية Q للمبادل الحراري الحلزوني ويتحسن المردود الحراري η_h الآخذ بعين الاعتبار تبريد المائع الساخن، وأن درجة الحرارة المثلى للحصول على أفضل مردود عام (η_c بالإضافة ل η_h) هي $(T_{hi} = 335 \div 337 [K])$.

نوصي بإجراء بحث مخبري (تجريبي) ومقارنة النتائج المخبرية مع نتائج الدراسة النظرية. كما نوصي بإجراء دراسة مماثلة في حالة الجريان الصفحي ومقارنتها مع حالة الجريان المضطرب المدروسة في بحثنا. كما يمكن تغيير نوع المعدن لمادة صنع الصفائح ومقارنة النتائج.

المراجع:

- 1-BALFANZ, B. ; HOPP, W. ;KONIGSDORF,W.;MAIER,K.;PLETKA,H. *Erfahrungenmit Platten-und Spiral-Warmeübertragern*. GASWARME International, vol. 45, N. 6, 1996, 276-284
- 2- WILHELMSSON, B. *Consider spiral heat exchangers for fouling application, Hydrocarbon Processing*. 2005, 83.
- 3- TROM,L.*Use spiral plate exchangers for various applications, Hydrocarbon Processing*. 1995, 73–81.

- 4-RODRIGUEZ, J. *Intercambiadores de placas en espiral, Introducción a la Termodinámica con Algunas Aplicaciones Ingeniería*. 2000, 692-696.
- 5- EGNER, M.; BURMEISTER, L. *Heat transfer for laminar flow in spiral ducts of rectangular cross section*, Journal of Heat Transfer, Vol. 127, 2005, 352-356.
- 6- BURMEISTER, L. *Effectiveness of a spiral plate heat exchanger with equal capacitance rates*, Journal of Heat Transfer, Vol. 128, 2006, 295-301.
- 7- YANG, R.; CHIANG, F. *An experimental heat transfer study for periodically varying-curvature curved-pipe*, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 45, No.15, 2002, 3199-32204.
- 8-SUGA, K. *Predicting turbulence and heat transfer in 3-D curved ducts by near-wall second moment closers*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 46, No. 1, 2003, 161-173.
- 9- HUTTL, T.; FRIEDRICH, R. *Influence of curvature and torsion on turbulent flow in helically coiled pipes*, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol .21, No. 3, 2000, 345-353.
- 10- HUTTL, T.; FRIEDRICH, R. *Direct numerical simulation of turbulent flows in curved and helically coiled pipes*, Computers and Fluids, Vol. 30, No. 5, 2001, 591-605.
- 11- Martin, H. *Heat Exchangers*, (Hemisphere Publishing Corporation), London, 1992, 73-82. 12-ANSYS FLUENT. *Theory Guide*. Release12, 2009, 816.