

تأثير وجود اسطوانات نصف دائرية على انتقال الحرارة من مصادر حرارية موضوعة في قناة ثنائية

الأبعاد

هاجر عامر صادق
مهندسة

د. عادل عبد الرزاق محمد سعيد
مدرس

د. احمد وحيد مصطفى
مدرس

قسم الهندسة الميكانيكية- جامعة تكريت

الخلاصة

تأثير وجود انصاف اسطوانات دائرية في قناة ثنائية البعد على انتقال الحرارة بالحمل القسري من مصدرين حراريين ذات درجة حرارة ثابتة تم دراسته عدديا. تحتوي القناة على مصدرين حراريين احدهما على السطح العلوي للقناة والاخر على السطح السفلي، المصدر على الجدار العلوي يوجد تحته نصف اسطوانة وكذلك المصدر على الجدار السفلي يوجد فوقه نصف اسطوانة. تم تغيير موقع المصدر الحراري الثاني مع نصف اسطوانته فيما ابقى موقع المصدر الحراري الاول ونصف اسطوانته ثابتين. اجريت دراسة حقلتي الجريان ودرجة الحرارة عدديا لقيم مختلفة من ارقام رينولد ولمختلف المسافة (S) بين مركزي انصاف الاسطوانات. تم تحليل حقل الجريان الطبقي عدديا بحل المعادلات نافير ستوك و الطاقة (Navier Stokes and Energy Equations) للجريان المستقر والثنائي الابعاد والالانضغاطي. استخدمت مركبات السرعة الديكارتية والضغط على شبكة متحدة الموقع (Collocated Grid) كمتغيرات معتمدة في معادلاتي الزخم التي تم تقطيعها بطريقة الحجم المحدد (Finite Volume Method) ، ولتمثيل شكل القناة المعقد بشكل دقيق تم استخدام نظام مطابقة إحداثيات الجسم، وكذلك استخدمت طريقة توليد الشبكة على اساس معادلات تفاضلية جزئية ببيضوية. استخدمت خوارزمية (SIMPLE) لتصحيح مجال السرعة لتحقيق حفظ الكتلة. مدى رقم رينولد هو (800-100) والمسافة بين مركزي انصاف الاسطوانات تتراوح (4-1) ولرقم براندتل (0.7).

بينت النتائج انه بزيادة المسافة بين انصاف الاسطوانات فان متوسط رقم نسلت يزداد للمصدر الحراري الاول ولجميع ارقام رينولد، كذلك بينت النتائج ان الحالة الافضل بين الحالات المدروسة لتحسين عملية انتقال الحرارة هي عندما يكون موقع المصدر الحراري الثاني ونصف اسطوانته عند المسافة (S=1.5) من نصف الاسطوانة الاولى ولرقم رينولد اكبر من (400 $Re \geq$) وذلك بسبب حدوث الانفصال خلف نصف الاسطوانة الاولى حيث يعمل هذا الانفصال على تقليل مساحة مقطع الجريان مما يؤدي الى زيادة السرعة وبالتالي زيادة معدل انتقال الحرارة. أظهرت مقارنة النتائج العددية توافق جيدا مع النتائج المنشورة.

الكلمات الدالة: انصاف الاسطوانات، مصادر حرارية، تحسين انتقال الحرارة، قناة متوازية الاسطح، الحل العددي.

Effect of the Presence of Semi-circular Cylinders on Heat Transfer From Heat Sources Placed in Two Dimensional Channel

Abstract

The effect of a semi-circular cylinders in a two dimensional channel on heat transfer by forced convection from two heat sources with a constant temperature has been studied numerically. Each channel contains two heat sources; one on the upper surface of the channel and the other on the lower surface of the channel. There is semi-circular cylinder under the source in upper surface and there is semi-circular cylinder above the source in lower surface. The location of the second heat source with its semi-cylinder has been changed and keeps the first source with its semi-cylinder at the same location. The flow and temperature field are studied numerically with different values of Reynolds numbers and for different spacing between the centers of the semi-cylinders. The laminar flow field is analyzed numerically by solving the steady forms of the two-dimensional incompressible Navier- Stokes and energy equations. The Cartesian velocity components and pressure on a collocated (non-staggered) grid are used as dependent variables in the momentum equations, which discretized by finite volume method, body fitted coordinates are used to represent the complex channel geometry accurately, and grid generation technique based on elliptic partial differential equations is employed. SIMPLE algorithm is used to adjust the velocity field to satisfy the conservation of mass. The range of Reynolds number is ($Re=100 - 800$) and the range of the spacing between the semi-cylinders is (1-4) and the Prandtl number is 0.7.

The results showed that increasing the spacing between the semi-cylinders increases the average of Nusselt number of the first heat source for all Reynolds numbers. As well as the results show that the best case among the cases studied to enhance the heat transfer is when the second heat source and its semi-cylinder located on at the distance ($S=1.5$) from the first half of the cylinder and the Reynolds number is greater than ($Re \geq 400$) because of the separation behind of the first semi-cylinder where it works to reduce the area of section flow, and this is leading to increase the speed and thus increases the rate of heat transfer. A comparison of numerical results agrees well with published results.

Keywords: Semi-circular Cylinders, Heat Sources, Heat transfer enhancement, Parallel surfaces duct, Numerical solution.

		قائمة الرموز
مركبة السرعة بالاتجاه الاحداثي x	u	
حجم الحجم المسيطر	V	
مركبة السرعة بالاتجاه الاحداثي y	v	نصف قطر الاسطوانة R
الاحداثي الافقي في مجال الطبيعي	x	ارتفاع القناة H
الاحداثي العمودي في مجال الطبيعي	y	الطول الكلي لمجال الطبيعي L
المسافة بين مركزي الاسطوانة	S	درجة الحرارة T
التدفق الكتلي لوجوه الحجم المسيطر	F	متوسط السرعة U_m

طريقة الحجم المحدد	FVM	عدد عقد الشبكة باتجاه الاحداثي ζ	M
المعادلات الحاكمة	GE	عدد عقد الشبكة باتجاه الاحداثي η	N
تحسين انتقال الحرارة	HTE	الضغط	P
طريقة شبه ضمني لمعادلة ارتباط الضغط	SIMPLE		
معادلة تفاضلية جزئية	PDE		
مصفوفة قطرية ثلاثية	TDMA		
		الرموز الفوقية	
		* كمية اللابعديّة	
		الرموز الخاصة	
		CV	الحجم المسيطر

المقدمة

إن التطور العلمي والصناعي والتكنولوجي الذي شهده العالم جعل إنتاج المبادلات الحرارية واحدة من أهم الوسائل في الحياة المدنية المعاصرة، لما له من دور مؤثر في واقع الحياة اليومية وعلامة مميزة وبارزة لعصرنا التكنولوجي كونها تستخدم في العديد من التطبيقات الهندسية على مر السنين، وقد وجهت جهود بحثية كبيرة في دراسة الزخم وانتقال الحرارة من اسطوانات مختلفة الاشكال كالأسطوانات الدائرية، البيضاوية، المربعة، المستطيلة. والاهتمام في مثل هذه الدراسات النموذجية كان من كلا الناحيتين النظرية والعملية. من الجانب النظري فإن الجريان على الاجسام المغمورة يشكل فئة مهمة من المشاكل ضمن مجال ميكانيك الموائع لما له من اهمية في تفسير وفهم كثير من الظواهر مثل الاعقاب (wakes) وفصل الدوامه (vortex shedding). اما من الجانب العملي، فإن الجريان على الأسطوانة يمثل عدة عمليات مهمة صناعيا، تشمل الجريان فوق الانابيب في المبادلات الحرارية....الخ

في المقابل تلقت دراسة الجريان فوق انصاف اسطوانات دائرية اهتمام قليل للغاية، مع العلم بان هذا الجريان له صلة كبيرة في تطوير وتصميم المبادلات الحرارية الجديدة مع تحسين خصائص انتقال الحرارة دون انخفاض الضغط، وكذلك في تبريد

المكونات والاشكال المختلفة من الرقائق الالكترونية وتطبيقات اخرى. لذلك فان هذا الجريان يستحق اهتمام في حد ذاته باعتباره واحد من المشاكل الاساسية في ديناميكية الموائع وانتقال الحرارة [1] (Avinash Chandra , R. P. Chhabra). لذلك يركز البحث الحالي على الجريان وانتقال الحرارة داخل قناة تحتوي على مصادر حرارية مسخنة بدرجة حرارة ثابتة مع وجود انصاف اسطوانات على السطح العلوي والسفلي للقناة لما له من اهمية كبيرة في تبريد الوحدات الالكترونية والمبادلات الحرارية.

اجرى الباحثان [2] (Shaw and Chen) دراسة عددية لانتقال الحرارة بالحمل القسري الطباق في قناة ثنائية البعد تحتوي على صفوف من المصادر الحرارية ذي درجة حرارة ثابتة، استخدمت طريقة الاتجاه المتناوب الضمني (ADI) لحل المعادلات الزخم والطاقة لمائع نيوتني ولجريان مستقر وغير انضغاطي. تأثيرات انتقال الحرارة بالإشعاع تم اهمالها. مدى رقم رينولد يتراوح من (100-1000)، وتم دراسة تأثير رقم رينولد على رقم نسلت للمصادر الحرارية. بينت النتائج ان انتقال الحرارة من المصادر الحرارية في الترتيب المتمايل (التزحيف) افضل بكثير من الترتيب بالاتجاه نفسه ولكن هبوط الضغط في ترتيب المتمايل اكبر من ترتيب بالاتجاه نفسه، وكما

غير متناظر على السطحين المتوازيين، السطحين العلوي والسفلي مسخنين عند درجة حرارة ثابتة. استخدمت طريقة الحجم المحدد، إذ تم تقطيع حد الحمل باستخدام الـ (Scheme Quick) واستخدمت خوارزمية (SIMPLE) لحل معادلات الاستمرارية والزخم لجريان الطباق، ثنائي البعد وغير انضغاطي. مدى رقم رينولد (1000-2500) ورقم براندتل ($Pr=0.7$). بينت النتائج ان وجود الاخايد في القناة ممكن ان يساهم بتحسين انتقال الحرارة بنسبة 30% بنسبة القناة الخالية من الاخايد مع زيادة بهبوط الضغط بنسبة 19%.

اجرى الباحثان [6] (*Korichi and Oufer*) دراسة عددية لانتقال الحرارة في قناة مستطيلة ثنائية الابعاد ولجريان طباقي وغير انضغاطي والخواص الفيزيائية الحرارية ثابتة. القناة تحتوي على مصادر حرارية متعاقبة على الجدار العلوي والسفلي للقناة مسخنه بدرجة حرارة ثابتة. تم الدراسة لثلاثة قيم لأرقام رينولد (1000، 500، 50)، ورقم براندتل ($Pr=0.71$). ووجدوا ان الموجه المنقلبة المتولدة بواسطة دوامة الفصل (*shedding vortex*) تساهم بشكل رئيسي في تحسين انتقال الحرارة، واستنتجوا ان زيادة رقم رينولد له تأثير بتكوين هذه الموجه المنقلبة وزيادة عدد نسلت.

اجرى الباحثون [7] (*Yang. al et*) بالحمل القسري دراسة عددية لانتقال الحرارة الطباق في قناة ثنائية البعد تحتوي على زعنفه في الجدار السفلي للقناة. استخدمت طريقة الدوامية- دالة الانسياب لحل المعادلات الحاكمة للجريان، إذ تم فرض الجريان مستقر وغير انضغاطي في القناة. السطح العلوي والسفلي للقناة مسخن عند درجة حرارة ثابتة. تم التحري في هذه الدراسة على تأثير رقم رينولد، ونسبة الموصلية الحرارية بين الزعنفه والمائع على انتقال

ازداد عدد رينولد ازدادت نسبة انتقال الحرارة مما يؤدي الى زيادة عدد نسلت.

اجرى الباحثان [3] (*Fu and Tong*) دراسة عددية لتأثير وجود اسطوانة متأرجحه على انتقال الحرارة من كتل الحرارية مسخنه بدرجة حرارة ثابتة. تم استخدام طريقة العناصر المحددة لحل المعادلات الحاكمة لجريان طباقي غير مستقر، ثنائي البعد، غير انضغاطي وخواص المائع ثابتة وتأثير الجاذبية مهملة. مدى رقم رينولد (250-500) ورقم براندتل ($Pr=0.7$). بينت النتائج ان انتقال الحرارة من الكتل يتحسن بشكل كبير عند زيادة تردد التأرجح وزيادة عدد رينولد.

اجرى الباحثون [4] (*da Silva et al.*) دراسة عددية لانتقال الحرارة بالحمل القسري الطباق لإيجاد التوزيع الامثل لمصادر حرارية على سطح قناة متوازية. ان الحل العددي تم لحالتين، الحالة الاولى بافتراض وجود عدد كبير من المصادر الحرارية الصغيرة والحالة الثانية بافتراض وجود عدد قليل من المصادر الحرارية ذو طول محدد وتم وضع المصادر الحرارية بمسافات غير منتظمة على جدار القناة. تم استخدام طريقة العناصر المحددة (*element finite method*) لحل معادلات الاستمرارية والزخم والطاقة، لجريان مستقر وثنائي البعد وغير انضغاطي. مدى ارقام رينولد ($10^2 - 10^5$) ومدى عدد براندتل ($Pr \geq 1$). واستنتجوا من هذه الدراسة المصادر الحرارية على جدار القناة يجب ان يكون غير منتظم لكلا الحالتين.

اجرى الباحثان [5] (*Ridouane and Campo*) دراسة عددية لانتقال الحرارة وهبوط الضغط في قناة متوازية تحتوي على اخايد نصف اسطوانية. تمت الدراسة لشكلين من الترتيب الاخايد الاولى ترتيب متناظر على السطح العلوي والسفلي والثاني ترتيب

المضطرب عند المقارنة مع بعض موديلات الاضطراب.

اجرى الباحث [10] (Ali) دراسة عملية لتحسين انتقال الحرارة من مصدرين حراريين عن طريق عمل ثقوب بين المصدرين. اذ يتم اخذ مسافتين فاصلتين بين المصدرين ($S/L=0.5,1$). ايضا تم تغيير نسبة مساحة فتحة الثقوب الى ($\beta=0, 0.0736, 0.2944, 0.1472$). توزيع درجات الحرارة ومتوسط رقم نسلت تمت دراسته لقيم مختلفة من رقم رينولد ($3391 \leq Re_L \leq 10798$) (المعروف في الجدول 2.1). تم استخدام الهواء كمائع تبريد، استخدمت سعة مزدوجات من نوع (Copper-constantan) حرارية من نوع لقياس درجة الحرارة المصادر الحرارية. اذ تم وضع المصادر الحرارية في مقطع الاختبار لنفق ريحي ابعاد المصادر الحرارية هي (40×40 mm). بينت النتائج ان وجود الثقوب يحسن انتقال الحرارة من المصادر الحرارية. درجة الحرارة اللابعدية للمصادر الحرارية تقل تدريجيا مع نسبة فتحة الثقوب. النقصان في متوسط درجة الحرارة اللابعدية للمصدرين هو 22% عندما تكون نسبة فتحة الثقوب ($\beta=0.2944$). الزيادة في متوسط معامل انتقال الحرارة للمصدر الاول بالمقارنة مع وجود مصدر حراري واحد هي 27% عندما تكون نسبة فتحة الثقوب ($\beta=0.2944$)، ($S/L=1$) ورقم رينولد ($Re_L = 10798$). الزيادة في متوسط معامل انتقال الحرارة للمصدر الثاني بالمقارنة مع وجود مصدر حراري واحد هي 8.5% عندما تكون نسبة الثقوب ($\beta=0.2944$)، ($S/L=1$) ورقم رينولد ($Re_L = 10798$).

بمراجعة وافية للبحوث التي تتناول دراسة انتقال الحرارة بالحمل القسري خلال قنوات محتوية على مصادر حرارية لم يلحظ وجود أي بحث يتناول

الحرارة. مدى رقم رينولد في هذه الدراسة كان ($2000 < Re < 100$) (معرف في جدول رقم 2.1) ورقم براندتل ($Pr=0.7$). بينت النتائج ان النسبة الامثل (نسبة الطول الى الارتفاع) للزعنفة تزداد بزيادة رقم رينولد، وتقل مع زيادة نسبة الموصلية الحرارية بين الزعنفة والمائع بثوت رقم رينولد.

اجرى الباحثون [8] (Sparrow et al) دراسة عملية لتحسين انتقال الحرارة بالحمل القسري وهبوط الضغط في قناة عمودية ثنائية البعد، تحتوي على 17 صف وكل صف يحتوي على كتل مربعة مولدة للحرارة. تم استخدام الهواء كمائع تبريد، وتقنية تسامي النفتالين. تم الدراسة لرقمين من ارقام رينولد (7000 و 2000). بينت النتائج ان تحسين انتقال الحرارة يتضاعف باستخدام حواجز متعددة، مع تباعد الجدار والارتفاع الحاجز يتغيرا سويا مع تغير ارقام رينولد. استنتجوا ان معامل انتقال الحرارة في السطوح العليا اكبر من معدل معامل انتقال الحرارة.

اجرى الباحثون [9] (Incropera et al.) دراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل القسري لحساب معامل انتقال الحرارة من مصادر حرارية موضوعة في قناة مستطيلة ثنائية الابعاد. توجد في القناة اربعة صفوف من المصادر الحرارية، كل صف يحتوي على 12 مصدر معزول من الاسفل. اجريت التجارب باستخدام الماء و (FC-77) كموائع تبريد، ومزدوجات حرارية من نوع (Copper-constantan) لقياس درجات الحرارة من مصادر الحرارية. مدى رقم رينولد يتراوح ما بين ($1000 < Re_D < 14000$). بينت النتائج ان معامل انتقال الحرارة المتوسط للصفوف يقل حوالي 25% من الصف الاول الى الثاني و 5% من الصف الثالث الى الرابع. هناك توافق جيد بنتائج الجريان

- 1- الجريان مستقر (Steady Flow).
- 2- الجريان ثنائي الابعاد (Two Dimensional Flow).
- 3- الجريان غير انضغاطي (Incompressible Flow).
- 4- درجة حرارة المصادر الحرارية ثابتة (T_w) (Constant Surface Temperature).
- 5- خصائص المائع ثابتة (Constant fluid properties).
- 6- الجريان طباقى (Laminar Flow).
- 7- المائع هواء ($Pr=0.7$).
- 8- تأثير الجاذبية مهمل.
- 9- سرعة دخول المائع الى القناة منتظمة (u_i).

المعادلات الحاكمة

بموجب الفرضيات في الفقرة السابقة، المعادلات الحاكمة للجريان تكون:-

معادلة الاستمرارية (Conservation of Mass) (حفظ الكتلة)

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

معادلة الزخم باتجاه الاحداثي x

$$\left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

معادلة الزخم باتجاه الاحداثي y (y- momentum)

$$\left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

معادلة الطاقة الحرارية (Conservation of Thermal Energy)

موضوع تأثير انتقال الحرارة بالحمل القسري خلال قناة محتوية على انصاف اسطوانات من مصادر حرارية موضوعة داخل القناة، لذلك تم التخطيط للبحث على النحو التالي:

- 1- اجراء حل عددي لمعادلات الاستمرارية، الزخم، والطاقة لجريان مستقر، ثنائي البعد، غير انضغاطي، وجريان طباقى داخل قناة محتوية على مصادر حرارية مع اسطوانات نصف دائرية.
- 2- فهم تأثيرات كل من الشكل الهندسي للقناة ورقم رينولد على خصائص الجريان وانتقال الحرارة من المصادر الحرارية الموضوعة في القناة.
- 3- ايجاد التصميم الامثل للقناة تحتويه على انصاف الاسطوانات.

النموذج الرياضي

الشكل الهندسي

الشكل (1) يمثل الشكل الهندسي للدراسة الحالية. يتكون الشكل الهندسي من قناة ثنائية الابعاد طولها الكلي (L) وارتفاعها (H)، تحتوي القناة على مصدرين حراريين طول كل منهما (Ls)، احدهما على السطح العلوي للقناة والآخر على السطح السفلي. المصدر على الجدار العلوي يوجد تحته نصف اسطوانة نصف قطرها (R) وكذلك المصدر على الجدار السفلي يوجد فوقه نصف اسطوانة نصف قطرها (R). المسافة ما بين مركزي انصاف الاسطوانات هي (S). الطول من دخول القناة الى المصدر الحراري الاول هو (Li)، الطول من المصدر الحراري الاول الى مخرج القناة هو (Le).

الفرضيات

ان المعادلات الحاكمة التي تصف الجريان وانتقال الحرارة في القناة التي تم وصفها في هذه الدراسة سوف يتم وضعها على اساس الفرضيات التالية:-

الموديل الرياضي للأسطوانات نصف دائرية

في هذه الدراسة الحالية تم استخدام اسطوانات نصف دائرية ، ويمكن تمثيل الموديل الرياضي لهذه

الاسطوانات بالمعادلات التالية :-

للجدار السفلي :-

$$y = \sqrt{R^2 - (x - R)^2} \text{ --- (9)}$$

للجدار العلوي :-

$$y = \sqrt{R^2 - (x - R)^2} + H \text{ --- (10)}$$

ويقسمة المعادلتين على (H) ،يمكن الحصول على

المعادلتين اللابعديتين :-

للجدار السفلي :-

$$y^* = \sqrt{R^{*2} - (x^* - R^*)^2} \text{ --- (11)}$$

للجدار العلوي :-

$$y^* = \sqrt{R^{*2} - (x^* - R^*)^2} + 1 \text{ --- (12)}$$

الشروط الحدية

لحل المعادلات الحاكمة (الكتلة ، الزخم ، الطاقة ، التي تم وضعها في هذه الدراسة ، يجب وضع

الشروط الحدية لهذه المعادلات. الشروط الحدية للمسألة يمكن وضعها على حدود المجال الفيزيائي

على النحو التالي (physical domain)

-(A,B,C,D) (انظر الشكل (2)) :-

$$\left. \begin{array}{l} \text{(A) } u^*=1, v^*=0, T^*=0, \left(\frac{\partial p^*}{\partial x^*}\right)=0 \\ \text{(B) } u^*=v^*=0, \left(\frac{\partial T^*}{\partial n^*}\right)=0, \left(\frac{\partial p^*}{\partial n^*}\right)=0 \\ \text{(C) } u^*=v^*=0, T^*=1, \left(\frac{\partial p^*}{\partial n^*}\right)=0 \\ \text{(D) } \left(\frac{\partial u^*}{\partial x^*}\right)=0, \left(\frac{\partial v^*}{\partial x^*}\right)=0, \left(\frac{\partial T^*}{\partial x^*}\right)=0, P^*=0 \end{array} \right\} \text{ (13)}$$

$$\left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y}\right) = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) \text{ --- (4)}$$

المعادلات والمقادير اللابعدية

على اساس المقاييس المميزة (Characteristic Scales

للمسألة $(T_w, u_i, \rho u_i^2, H)$ المتغيرات

اللابعدية يمكن ان تعرف على النحو التالي :-

$$(u^* = \frac{u}{u_i}) \text{ السرعة الافقية}$$

$$(v^* = \frac{v}{u_i}) \text{ السرعة العمودية}$$

$$(x^* = \frac{x}{H}, y^* = \frac{y}{H}) \text{ الطول المميز}$$

$$(p^* = \frac{p}{\rho u_i^2}) \text{ الضغط}$$

$$(T^* = \frac{T - T_\infty}{T_w - T_\infty}) \text{ درجة الحرارة}$$

وبتعويض المتغيرات اللابعدية في المعادلات

الحاكمة (1)،(2)،(3) و(4) يمكن الحصول على

المعادلات اللابعدية التالية :-

معادلة اللابعدية لحفظ الكتلة

$$\frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{\partial v^*}{\partial y^*} = 0 \text{ --- (5)}$$

معادلة اللابعدية للزخم باتجاه الاحداثي الافقي (x) :-

$$\left(u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y^*}\right) = -\frac{\partial p^*}{\partial x^*} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial y^{*2}}\right) \text{ --- (6)}$$

معادلة اللابعدية للزخم باتجاه الاحداثي العمودي

-(y)

$$\left(u^* \frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial y^*}\right) = -\frac{\partial p^*}{\partial y^*} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 v^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 v^*}{\partial y^{*2}}\right) \text{ --- (7)}$$

معادلة الطاقة اللابعدية :-

$$\left(u^* \frac{\partial T^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial T^*}{\partial y^*}\right) = \frac{1}{Re Pr} \left(\frac{\partial^2 T^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial y^{*2}}\right) \text{ --- (8)}$$

$$\Delta p = \overline{p_{in}} - \overline{p_{out}} \text{ --- (19)}$$

الحل العددي

يمكن ان تكتب معادلات الحفظ (المعادلات (5)، (6)، (7) و (8)) بشكل عام في الاحداثيات الديكارتية لمتغير لابعدى معتمد (ϕ^*) على النحو التالي:-

$$\frac{\partial(u^* \phi^*)}{\partial x^*} + \frac{\partial(v^* \phi^*)}{\partial y^*} = \frac{\partial}{\partial x^*} \left(\Gamma \phi^* \frac{\partial \phi^*}{\partial x^*} \right) + \frac{\partial}{\partial y^*} \left(\Gamma \phi^* \frac{\partial \phi^*}{\partial y^*} \right) + S^* \phi^* \text{ --- (20)}$$

حيث ϕ^* يمثل اي متغير معتمد، $\Gamma^* \phi^*$ يمثل معامل التبادل او معامل الانتشار ل ϕ^* ، $S^* \phi^*$ يمثل الحد المصدر ل ϕ^* .

معادلة الاستمرارية (5) لا تحتوي على حدود الانتشار ولا حدود المصدر، ولكن يتم استخدامها لاشتقاق معادلة تصحيح الضغط.

في هذه الدراسة تم استخدام نظام احداثيات مطابقة الجسم (Body fitted coordinate system) التي يتم توليدها بحل معادلات تفاضلية ببيضية لتوليد الاحداثيات المنحنية كما في الشكل (3). المعادلة (20) يتم تحويلها من المجال الفيزيائي الى المجال الحسابي باستخدام $\zeta^* = \zeta^*(x^*, y^*)$ ، $\eta^* = \eta^*(x^*, y^*)$ ، وقاعدة السلسلة لتحويل المشتقات $\left(\frac{\partial}{\partial x^*}, \frac{\partial}{\partial y^*} \right)$ ، الشكل النهائي لمعادلة التحويل يمكن ان تكتب بالشكل التالي:

$$\frac{\partial}{\partial \zeta^*} \left(\phi^* G_1^* \right) + \frac{\partial}{\partial \eta^*} \left(\phi^* G_2^* \right) = \frac{\partial}{\partial \zeta^*} \left(\Gamma \phi^* J^* \alpha^* \frac{\partial \phi^*}{\partial \zeta^*} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta^*} \left(\Gamma \phi^* J^* \gamma^* \frac{\partial \phi^*}{\partial \eta^*} \right) + S^* \phi^* \text{ --- (21)}$$

حيث (G_1^*, G_2^*) تمثل معدل الجريان الكتلي، $S_{\zeta, \eta}^*$ هو حد المصدر بسبب عدم التعامد، J^* معامل جاكوبيين، $\alpha^*, \gamma^*, \beta^*$ معاملات التحويل وتعطى بالمعادلات التالية

حيث n^* هو الاحداثي اللابعدى العمودي على السطح.

حساب معدل انتقال الحرارة

ان عدد نسلت الموضوعي على المصادر الحرارة يمكن حسابه على النحو التالي:-

$$Nu_x = \frac{h_x L_s}{K_f} = \frac{-\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right) H}{T_w - T_o} = -\frac{\partial T^*}{\partial y^*} \text{ --- (14)}$$

ويحسب معدل عدد نسلت كما يلي :-

$$\overline{Nu} = \frac{1}{L_s} \int_a^{a+L_s} Nu_x dx \text{ --- (15)}$$

حساب هبوط الضغط

يمكن حساب معدل هبوط الضغط خلال القناة على النحو التالية :-
الضغط عند مدخل القناة يكون :-

$$\overline{p_{in}} = \frac{1}{H} \int_0^H p_{in} dy \text{ --- (16)}$$

وبالقسمه طرفي المعادلة اعلاه على (ρu_i^2) نحصل على :-

$$\overline{p_{in}} = \int_0^1 p_{in}^* \frac{dy}{H} = \int_0^1 p_{in}^* dy^* \text{ --- (17)}$$

وبنفس الطريقة يمكن حساب الضغط عند المخرج القناة :-

$$\overline{p_{out}} = \int_0^1 p_{out}^* dy^* \text{ --- (18)}$$

وعليه يكون هبوط الضغط خلال القناة :-

معيار التقارب المستخدم في هذه الدراسة لإنهاء التكرار، إذا كان مجموع القيمة المطلقة للفضلة (residual) في جميع المعادلات اقل من (10^{-3}) . وللمزيد من المعلومات، يمكن الاطلاع على تفاصيل الحل العددي في [13] (Ferziger and Peric) مقارنة الحل العددي مع بحوث سابقة

$$\left. \begin{aligned} G^*_{1=u} &= \frac{\partial \eta^*}{\partial x^*} v^* - \frac{\partial \eta^*}{\partial y^*} u^* \\ G^*_{2=v} &= \frac{\partial \eta^*}{\partial x^*} u^* - \frac{\partial \eta^*}{\partial y^*} v^* \\ J^* &= \frac{\partial \eta^*}{\partial x^*} \frac{\partial \eta^*}{\partial y^*} - \frac{\partial \eta^*}{\partial y^*} \frac{\partial \eta^*}{\partial x^*} \\ S^*_{\zeta, \eta} &= - \left(\frac{\partial}{\partial \eta^*} \left(\Gamma^* J^* \beta^* \frac{\partial \phi^*}{\partial \zeta^*} \right) + \frac{\partial}{\partial \zeta^*} \left(\Gamma^* \phi^* J^* \beta^* \frac{\partial \phi^*}{\partial \eta^*} \right) \right) \\ \alpha^* &= \left(\frac{\partial x^*}{\partial \eta^*} \right)^2 + \left(\frac{\partial y^*}{\partial \eta^*} \right)^2 \\ \gamma^* &= \left(\frac{\partial x^*}{\partial \zeta^*} \frac{\partial x^*}{\partial \eta^*} \right) + \left(\frac{\partial y^*}{\partial \zeta^*} \frac{\partial y^*}{\partial \eta^*} \right) \\ \beta^* &= \left(\frac{\partial x^*}{\partial \zeta^*} \right)^2 + \left(\frac{\partial y^*}{\partial \zeta^*} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

من اجل التأكد من صحة الحل العددي تم مقارنة نتائج الحل العددي للبحث الحالي مع للمقارنة، احدى البحوث السابقة، وتم استخدام نتائج [5] (Ridouane and Campo) وكانت تلك الدراسة هي انتقال الحرارة وهبوط الضغط في قناة متوازية تحتوي على (6) اخاديد نصف اسطوانية ثلاثة منها موضوعة على السطح العلوي والاخرى ثلاثه موضوعة على السطح السفلي. ان الابعاد البعيدة للقناة كانت (H=4cm، L=120cm). وتم تغير هذه الابعاد من ابعاد بعيدة الى ابعاد لابعدية وذلك بقسمة ابعاد القناة كافة على ارتفاع القناة؛ مما يجعل ارتفاع القناة مساوي لواحد (1) وطول القناة (30). مدى رقم رينولد (Re_{2H} = 1000 – 2500) ورقم براندتل (Pr=0.7). تم تعريف متوسط رقم نسلت على اساس القطر الهيدروليكي للقناة (2H) كما هو معرف في المصدر [5] (Ridouane and Campo)، ومن خلال مقارنة متوسط رقم نسلت مع ارقام رينولد لوحظ ان التوافق جيد بين نتائج البحث الحالي مع بحث [5] (Ridouane and Campo) كما مبين في الشكل(4).

النتائج والمناقشة

تأثير وجود اتصاف الاسطوانات وتغيير المسافة (S) على رقم نسلت الموضوعي
توضح الاشكال من (5) الى (18) توزيع رقم نسلت الموضوعي على المصدر الحراري الاول والثاني ولقيم

المعادلات الحاكمة المقطعة يتم الحصول عليها باستخدام طريقة الحجم المحدد لشبكة غير مترخفه (non-staggered grid) من تكامل المعادلة الحاكمة العامة (21) على الحجم المسيطر في المجال الحسابي. يتم تقريب حدود الحمل باستخدام برنامج فرق الجريان الصاعد (Upwind Differencing Scheme) من الدرجة الاولى، تقريب حدود الانتشار بواسطة برنامج فرق الجريان المركزي (Central Differencing Scheme) ذو الرتبة الثانية، وكذلك تقريب حد المصدر بواسطة فرق الجريان المركزي.

تستخدم خوارزمية (SIMPLE) لشبكة غير متعامدة متحدة الموقع (collocated grid) لتعديل مجال السرعة لتحقيق حفظ الكتلة. يتم تخزين جميع المتغيرات في مركز الحجم المسيطر، واستخدام طريقة الاستكمال في معادلة الضغط لتجنب حدوث الفصل بين السرعة والضغط كما في [11] (Rhie and Chow).

تأثير المشتقات المتقاطعة ولتجنب حل مصفوفات تساعية قطرية (nine-diagonal) لمعادلة الضغط المصحح، يتم حساب المشتقات المتقاطعة لمعادلة الضغط المصحح تقريبا كما في [12] (Komori and Wang). يتم حل المعادلات المقطعة تكراريا باستخدام طريقة خط بعد خط التي تستخدم خوارزمية مصفوفة ثلاثية قطرية (TDMA).

زيادة في رقم نسلت الموضعي عند نهاية المصدر بسبب ابتعاد نصف الاسطوانة الثانية عن المصدر مما يؤدي الى زيادة مسافة مقطع الجريان. من الاشكال (21b)، (22b)، (23b)، (24b) و (25b) نلاحظ بأن تطبيق خطوط درجات الحرارة (Temperature Stratification) على المصدر الحراري الاول يزداد بزيادة (S) وذلك بسبب ابتعاد نصف الاسطوانة الثانية الذي كان يسبب التباطؤ في المنطقة الامامية للأسطوانة الثانية لذلك يستمر رقم نسلت الموضعي على المصدر الحراري الاول يزداد بزيادة (S) مع الحفاظ على نفس التصرف.

للمصدر الحراري الثاني وعندما تكون المسافة بين انصاف الاسطوانات (S=1) نلاحظ قيمة عظمى لرقم نسلت الموضعي بعد الحافة الامامية للمصدر كما موضح في الشكل (6b) ولجميع قيم (Re)، هذه الزيادة بسبب زيادة السرعة التي سببها وجود نصف الاسطوانة الاولى حيث تكون اقرب ما يمكن لنصف الاسطوانة الثانية مما يؤدي الى نقصان مساحة الجريان الذي يسبب زيادة السرعة وبالتالي الزيادة في رقم نسلت الموضعي. كذلك عند (S=1) للمصدر الحراري الثاني تكون القيمة الدنيا لرقم نسلت الموضعي عند الحافة الامامية للمصدر كما موضح في الشكل (6b) ولجميع قيم (Re)، هذا النقصان بسبب اتصال الحافة الامامية للمصدر الثاني مع نصف الاسطوانة الاولى حيث يسبب نقصان تطبيق درجات الحرارة (Temperature Stratification) وكما موضح في الشكل (19b) حيث يوضح الشكل مخطط درجات الحرارة عندما تكون (S=1).

عند المسافة (S=1.5) وللمصدر الحراري الثاني نلاحظ ايضا وجود قيمة عظمى لرقم نسلت الموضعي بعد الحافة الامامية للمصدر ولكن عندما يكون رقم رينولد اكبر من (400) وكذلك انحدار رقم نسلت

مختلفة للمسافات انصاف الاسطوانات (S=1-4) ولمدى رقم رينولد يتراوح (Re=100-800). بينت النتائج في حالة وجود انصاف الاسطوانات في القناة تسبب زيادة رقم نسلت الموضعي الى ما يقارب ضعف القيمة من رقم نسلت الموضعي في حالة عدم وجود انصاف الاسطوانات في القناة ولكلا المصدرين كما موضح في الاشكال (18-5).

للمصدر الحراري الاول وعندما تكون (S=1) وبوجود انصاف الاسطوانات، يبين الشكل (5b) توزيع رقم نسلت الموضعي على طول المصدر، اعلى قيمة لرقم نسلت يكون عند الحافة الامامية للمصدر لان اعلى انحدار لدرجة الحرارة يكون عند الحافة الامامية (leading edge) وينحدر باتجاه الجريان، بعد النصف الامامي للمصدر يبدأ رقم نسلت بالزيادة ثم بالنقصان لجميع قيم رينولد كما موضح في الشكل (5b)، الزيادة التي تحصل قبل النهائية المصدر هي نتيجة تضيق مساحة الجريان بسبب وجود نصف الاسطوانة الثانية والنقصان في نهاية المصدر هو بسبب تباطؤ المائع ايضا بسبب وجود نصف الاسطوانة الثانية.

عند زيادة المسافة بين الاسطوانتين (S= 1.5) نلاحظ زيادة في رقم نسلت الموضعي في نهاية المصدر وتكون هذه الزيادة اكبر لرقم رينولد اكبر من (400) كما موضح في الشكل (7b) هذه الزيادة بسبب انفصال المائع خلف نصف الاسطوانة الثانية الواضح في الشكل (21a) اذ يعمل هذا الانفصال على تقليل مساحة مقطع الجريان وبالتالي زيادة السرعة عند نفس الموقع الذي يزداد عنده رقم نسلت الموضعي.

نلاحظ استمرار انحدار رقم نسلت الموضعي على طول المصدر الحراري عندما تكون (S ≥ 2) كما موضح في الاشكال (9b)، (11b)، (13b)، (15b) و (17b) حيث لا توجد

الى الزيادة في رقم نسلت كما موضح في الشكل(10b).

عند زيادة المسافة ($S > 2$) نلاحظ تصرف رقم نسلت الموضعي على المصدر الحراري الثاني مشابه لتصرف رقم نسلت الموضعي على المصدر الحراري الاول، اي لا توجد قمه لجميع ارقام رينولد كما هو واضح في الاشكال (12b)،(14b)،(16b)و(18b) هذا بسبب ابتعاد المصدر الحراري الثاني مع نصف اسطوانته عن منطقة الانفصال خلف نصف الاسطوانة الاولى مما يؤدي الى زيادة مساحة مقطع الجريان عند مدخل المصدر الحراري الثاني كما هو واضح في الاشكال(22a)،(23a)،(24a)و(25a) .

تأثير وجود انصاف الاسطوانات والمسافة (S) على متوسط رقم نسلت

ان متوسط رقم نسلت يمكن الحصول عليه على مصدريين الحراريين من تكامل رقم نسلت الموضعي على المصدرين كما معطى في المعادلة (15).
الاشكال (26)،(27)،(28)و(29) تبين تغير متوسط رقم نسلت للمصدرين الحراريين الاول والثاني مع المسافة الفاصلة بين مركزي انصاف الاسطوانات (S) ولأرقام رينولد (200)،(400)،(600) و(800) على التوالي. ان وجود انصاف الاسطوانات يزيد من انتقال الحرارة (متوسط رقم نسلت) من المصدرين الحراريين كما موضح في الاشكال من (26)الى (29) لجميع ارقام رينولد، حيث يسبب وجود انصاف الاسطوانات من زيادة السرعة فوق المصدرين وبالتالي زيادة مع معدل انتقال الحرارة. للمصدر الحراري الاول نلاحظ الزيادة في متوسط رقم نسلت تحدث من ($S=1-4$) كما موضح في الاشكال (26) و(27) وذلك بسبب الزيادة الحاصلة في رقم نسلت الموضعي التي تم ذكرها في الفقرة اعلاه.

الموضعي عند الحافة الامامية للمصدر عندما يكون ($Re \geq 400$)، كما موضح في الشكل (8b)، اما النقصان عند الحافة الامامية فهو بسبب الانفصال الذي يحصل خلف نصف الاسطوانة الاولى كما موضح في خطوط الانسياب في الشكل (20a)، هذا الانفصال دوره يسبب نقصان في تطبيق درجات الحرارة (Temperature Stratification) عند الحافة الامامية كما موضح في الشكل (20b). اما الزيادة التي حدثت في رقم نسلت الموضعي بعد الحافة الامامية فهي ايضا بسبب الانفصال الذي حدث خلف الاسطوانة الاولى ولرغم رينولد ($Re \geq 400$) حيث يعمل هذا الانفصال على تقليل مساحة مقطع الجريان مما يؤدي الى زيادة السرعة وبالتالي زيادة رقم نسلت الموضعي. عندما يكون رقم رينولد اقل من ($Re < 200$) فان الانفصال خلف الاسطوانة الاولى يكون صغير وغير مؤثر على الحافة الامامية للمصدر الحراري الثاني كما موضح في الشكل (20a,b)، لذلك نلاحظ زيادة في رقم نسلت الموضعي عند الحافة الامامية كما موضح في الشكل (8b).

عند ابتعاد المصدر الثاني عن نصف الاسطوانة الاولى عندما تكون ($S=2$) نلاحظ انحدار رقم نسلت على طول المصدر الحراري الثاني ولأرقام رينولد اقل من (600) كما هو واضح في الشكل (10b). وذلك بسبب ابتعاد نصف الاسطوانة الثانية عن منطقة انفصال خلف الاسطوانة الاولى (كما موضح في الشكل (21a)) مما يؤدي الى زيادة مساحة مقطع الجريان ونقصان السرعة وبالتالي نقصان رقم نسلت الموضعي. اما عندما يكون رقم رينولد ($Re=800$) فنلاحظ زيادة في رقم نسلت الموضعي وذلك بسبب امتداد الانفصال الى او بالقرب من نصف الاسطوانة الثانية (كما موضح في الشكل (21a)) مما يؤدي

نسلت عند المسافة ($S=1.5$) وعندما يكون رقم رينولد ($Re \geq 400$) (كما مبين بالشكل (31)) تحصل هذه الزيادة بسبب الانفصال الذي حدث خلف الاسطوانة الاولى التي تسبب تقليل مساحة مقطع الجريان وبالتالي زيادة السرعة التي تسبب زيادة في انتقال الحرارة.

تأثير المسافة (S) على معدل هبوط الضغط

من خلال الشكل (32) وفي حالة وجود انصاف الاسطوانات نلاحظ بان معدل هبوط الضغط يقل بزيادة رقم رينولد، وكذلك يقل معدل هبوط الضغط كلما ازدادت المسافة (S) بسبب ابتعاد نصف الاسطوانة الثانية عن نصف الاسطوانة الاولى التي تسبب تقليل خسارة. من خلال الشكل (32) نلاحظ ايضا وجود قيمه صغرى عند المسافة ($S=1.5$) ولجميع قيم (Re) بسبب زيادة سرعة التي سببتها حدوث الانفصال خلف الاسطوانة الاولى.

اما في حالة عدم وجود انصاف الاسطوانات نلاحظ في الشكل (32) نقصان معدل هبوط الضغط كلما ازداد رقم رينولد، ولكن تساوي معدل هبوط الضغط كلما ازدادت المسافة (S) لعدم وجود انصاف الاسطوانات.

الاستنتاجات

اجري في هذا البحث إنجاز دراسة نظرية؛ لبيان تأثير وجود اسطوانات نصف دائرية على انتقال الحرارة بالحمل القسري من مصادر حرارية ذات درجة حرارة ثابتة، موضوعة في قناة ثنائية الابعاد. ومن خلال نتائج الدراسة العددية يمكن استخلاص الاستنتاجات الآتية:

1. بينت النتائج في حالة وجود انصاف الاسطوانات في القناة؛ تسبب زيادة رقم نسلت الموضعي الى ما يقارب ضعف القيمة من رقم نسلت الموضعي

نلاحظ ان اقصى قيمة لمتوسط رقم نسلت للمصدر الحراري الثاني ولارقام رينولد ($Re > 400$) يحدث عند المسافة ($S=1.5$) كما موضح في الاشكال (28) و(29)، هذه الزيادة كما ورد ذكرها في الفقرة السابقة هي بسبب ظهور الانفصال خلف نصف الاسطوانة الاولى مما يضيق مساحة مقطع الجريان وبالتالي زيادة السرعة كما موضح في توزيع رقم نسلت الموضعي في الشكل (8b).

حساب نسبة تحسين انتقال الحرارة

تم حساب نسبة تحسين انتقال الحرارة (Heat Transfer Enhancement) من المصدرين الحراريين، كما مبين في الجدول (1)، وتعرف هذه النسبة كما عرفت في المصدر [5] (*Ridouane and Campo*) على النحو التالي:

$$HTE = \frac{\overline{Nu}}{Nu_0} \text{ --- (23)}$$

حيث \overline{Nu}_0 هو متوسط رقم نسلت بعدم وجود الاسطوانات.

ومن خلال حساب نسبة تحسين انتقال الحرارة، وجد ان اعظم قيمة لنسبة تحسين انتقال الحرارة من المصدر الحراري الثاني تحدث عندما تكون ($S=1.5$) ولرقم رينولد اكبر من (400) كما موضح في الخلايا المظلة جدول (1).

تأثير رقم رينولد (Re) على متوسط رقم نسلت

للمصدر الحراري الاول نلاحظ من الشكل (30) ان بزيادة المسافة (S) يزداد متوسط رقم نسلت لجميع ارقام رينولد وذلك بسبب ابتعاد نصف الاسطوانة الثانية عن نصف الاسطوانة الاولى (اي ابتعاد عن منطقة التباطئ).

اما للمصدر الحراري الثاني يزداد متوسط رقم نسلت لجميع قيم رينولد كلما ازدادت المسافة (S) كما مبين بالشكل (31)، ولكن نلاحظ زيادة عظمى لمتوسط رقم

رقم نسلت عند المسافة ($S^*=1.5$) وعندما يكون رقم رينولد ($Re \geq 400$).

8. معدل هبوط الضغط يقل بزيادة رقم رينولد، وكذلك يقل معدل هبوط الضغط كلما ازدادت المسافة (S^*) بين انصاف الاسطوانات.
9. بإضافة مصدر حراري ثالث مع نصف اسطوانة تالثة في القناة بعد المصدرين الاول والثاني نجد ان رقم نسلت الموضوعي يتصرف نفس التصرف بالنسبة الى المصدر الحراري الثاني.

التوصيات والدراسة المستقبلية

تشمل التوصيات اللازمة لدراسة إضافية على تأثير وجود انصاف الاسطوانات الدائرية على انتقال الحرارة من مصادر حرارية موضوعة في قناة ثنائية الابعاد ما يأتي:

- 1- تطوير البرنامج النظري ليشمل اشكال اخرى اكثر تعقيدا.
- 2- اجراء دراسات عملية ونظرية لتأثير وجود انصاف الاسطوانات الدائرية على انتقال الحرارة من مصادر حرارية موضوعة في قناة ثنائية الابعاد للوضعية المائلة والعمودية.
- 3- دراسة تأثير وجود انصاف الاسطوانات الدائرية على انتقال الحرارة بالحمل المختلط من مصادر حرارية موضوعة في قناة ثنائية الابعاد.
- 4- دراسة تأثير الفيض الحراري (المنتظم وغير المنتظم) في تحسين معامل انتقال الحرارة.
- 5- دراسة تأثير وجود انصاف الاسطوانات الدائرية على انتقال الحرارة من مصادر حرارية موضوعة في قناة ثنائية الابعاد عند جريان الموائع غير النيوتونية (Non-Newtonian Fluids).

في حالة عدم وجود انصاف الاسطوانات في القناة .

2. وجود قيمة عظمى لرقم نسلت الموضوعي بعد الحافة الامامية للمصدر الحراري الثاني عند ($S^*=1$) ولجميع قيم (Re)، وكذلك وجود قيمة دنيا لرقم نسلت الموضوعي عند الحافة الامامية للمصدر؛ بسبب اتصال الحافة الامامية للمصدر الثاني مع نصف الاسطوانة الاولى.
3. وجود قيمة عظمى في رقم نسلت الموضوعي بعد الحافة الامامية للمصدر الحراري الثاني وعند رقم رينولد ($Re \geq 400$) والمسافة ($S^*=1.5$)، وكذلك النقصان عند الحافة الامامية؛ فهو بسبب الانفصال الذي حدث خلف نصف الاسطوانة الاولى، اما عندما يكون رقم رينولد اقل من (200) تكون الزيادة في رقم نسلت الموضوعي عند الحافة الامامية للمصدر.
4. عند زيادة المسافة ($S^* > 2$) نلاحظ تشابه تصرف رقم نسلت الموضوعي على المصدر الحراري الثاني؛ لتصرف رقم نسلت الموضوعي على المصدر الحراري الاول.
5. ان وجود انصاف الاسطوانات؛ يزيد من انتقال الحرارة (متوسط رقم نسلت) من المصدرين الحراريين لجميع ارقام رينولد.
6. تحدث زيادة في متوسط رقم نسلت للمصدر الحراري الاول عند المسافة ($S^*=1-4$)، اما للمصدر الحراري الثاني تحدث اقصى قيمة لمتوسط رقم نسلت عند المسافة ($S^*=1.5$).
7. يزداد متوسط رقم نسلت بزيادة رقم رينولد كلما ازدادت المسافة (S^*) للمصدر الحراري الاول، اما للمصدر الحراري الثاني يزداد متوسط رقم نسلت لجميع قيم رينولد كلما ازدادت المسافة (S^*)، ولكن نلاحظ زيادة عظمى في متوسط

7- Min-Hsiung Yang, Rong-Hua Yeh, Jen-Jyh Hwang, (2010) "Forced convective cooling of a fin in a channel" *Energy Conversion and Management* 51, 1277-1286.

8- E.M.Sparrow, S. B.Vemuri and D. S.Kadie,(1983) "Enhanced and Local Heat Transfer, Pressure Drop, and Flow Visualization for Arrays of Block-Like Electronic Components" *hr. J Heat Mass Transfer*. Vol. 26. No 5. pp. 689- 699.

9- F.P.Incropera, J. S.Kerby, D.F.Moffatt and S.Ramadhyani,(1986) "Convection heat transfer from discrete heat sources in a rectangular channel" *hf. 1. Heat Mass Transfer*. Vol. 29, No. 7, pp. 1051-1058.

10- R.K. Ali,(2009) "Heat transfer enhancement from protruding heat sources using perforated zone between the heat sources" *Applied Thermal Engineering* 29, 2766-2772.

11- Rhie, C. M., and Chow, W. L., 1983, "Numerical Study of the Turbulent Flow Past an Airfoil with Trailing Edge Separation", *AIAA Journal*, Vol.21, PP 1525-1532.

12-Wang, Y., and Komori, S.,(1998) "Simulation of the Subsonic Flow in a High-Speed Centrifugal Compressor Impeller by the Pressure-Based Method" *IMechE A01098*, PP 269-287.

13- Ferziger and peric, (1996) "Computational Methods for Fluid Dynamics" Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

6- استخدام النموذج نفسه لإعداد رينولد التي تتضمن الجريان المضطرب واعداد براندتل الاكبر من (0.7).

المصادر

1- Avinash Chandra , R.P. Chhabra , (2011) " Flow over and forced convection heat transfer in Newtonian fluids from a semi-circular cylinder" *International Journal of Heat and Mass Transfer* 54, 225-241.

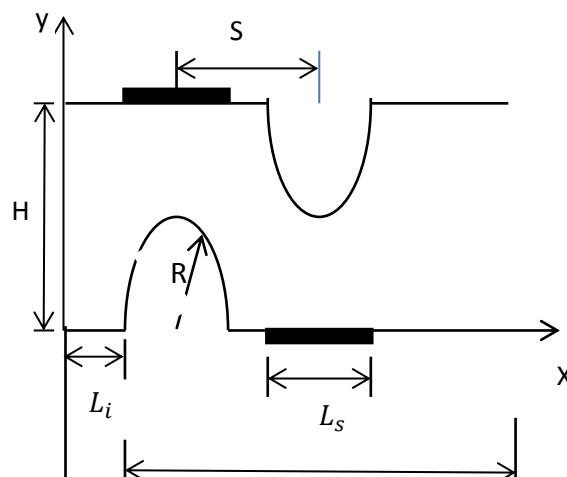
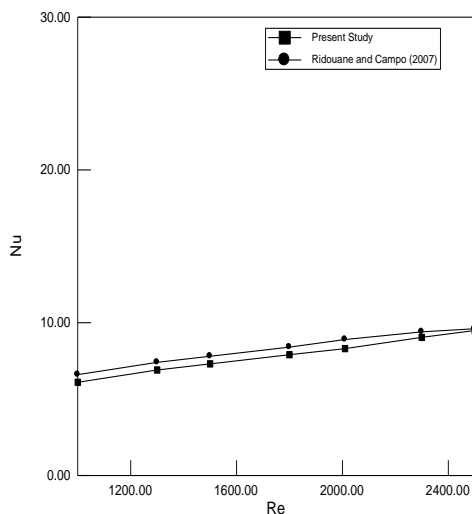
2- H.-J. Shaw and W.-L Chen,(1991) " Laminar forced convection in a channel with arrays of thermal sources" *Warme- and Stoffubertragung* 26, 195-201.

3- Wu-Shung Fu Bao-Hong Tong, (2004) " Numerical investigation of heat transfer characteristics of the heated blocks in the channel with a transversely oscillating cylinder" *International Journal of Heat and Mass Transfer* 47, 341-351.

4- A.K. da Silva, S. Lorente, A .Bejan, (2004) " Optimal distribution of discrete heat sources on a plate with laminar forced convection" *International Journal of Heat and Mass Transfer* 47, 2139-2148.

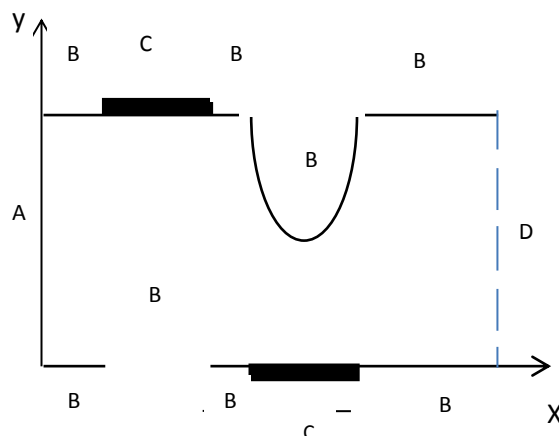
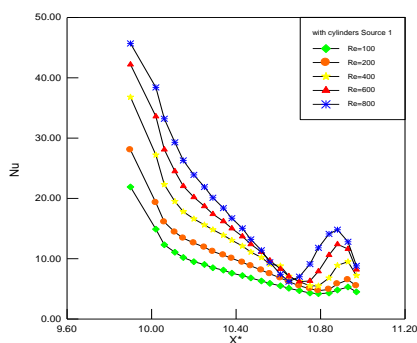
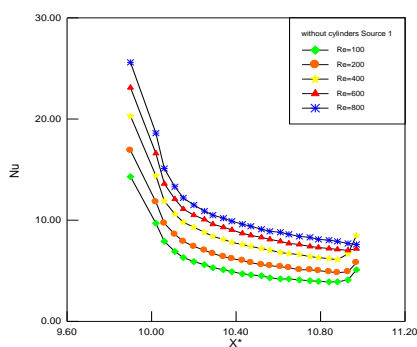
5- El Hassan Ridouane, Antonio Campo, (2007) " Heat transfer and pressure drop characteristics of laminar air flows moving in a parallel-plate channel with transverse hemi-cylindrical cavities" *International Journal of Heat and Mass Transfer* 50, 3913-3924.

6- Abdelkader Korichi, Lounes Ouferr, (2007) "Heat transfer enhancement in oscillatory flow in channel with periodically upper and lower walls mounted obstacles" *International Journal of Heat and Fluid Flow* 28, 1003-1012.



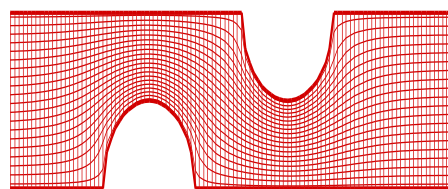
الشكل (1) يوضح الشكل الهندسي للقناة

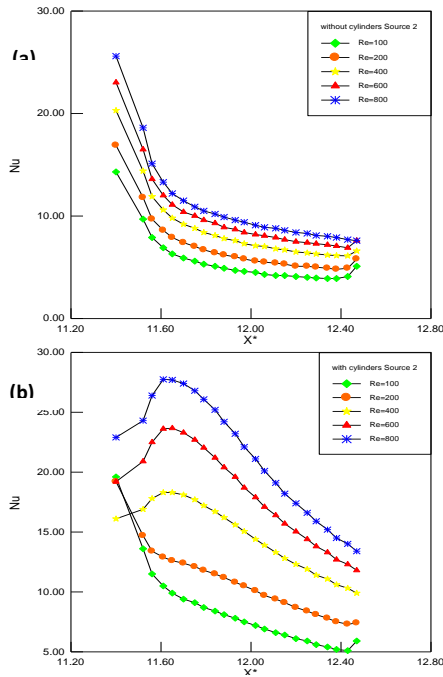
الشكل (4) مقارنة متوسط رقم نسلت ما بين البحث الحالي
والبحث (2007)^[5] (Ridouane and Campo)



الشكل (2) يوضح الشروط الحدية

الشكل (5): توزيع رقم نسلت الموضعي عند المصدر
الحراري الاول ($S=1$) و ($Pr=0.7$)
(a): حالة عدم وجود الاسطوانتين، (b) حالة وجود
الاسطوانتين.

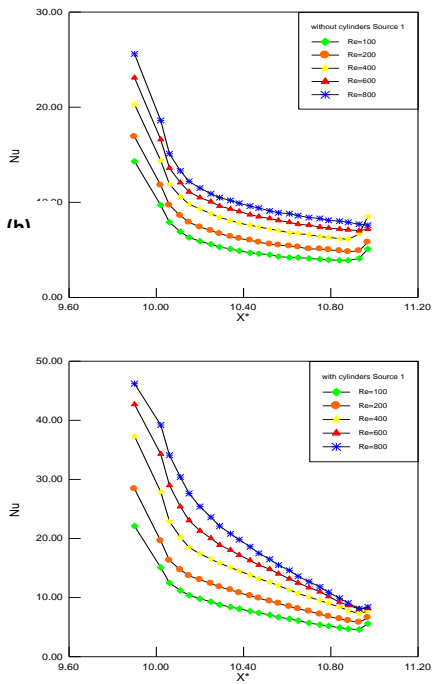
الشكل (3) الاشكال المنحنية لحل المعادلة
التفاضلية



الشكل (8): توزيع رقم نسلت الموضعي عند المصدر

الحراري الثاني (S=1.5) و (Pr=0.7) (a)

(a): حالة عدم وجود الاسطوانتين، (b) حالة وجود الاسطوانتين

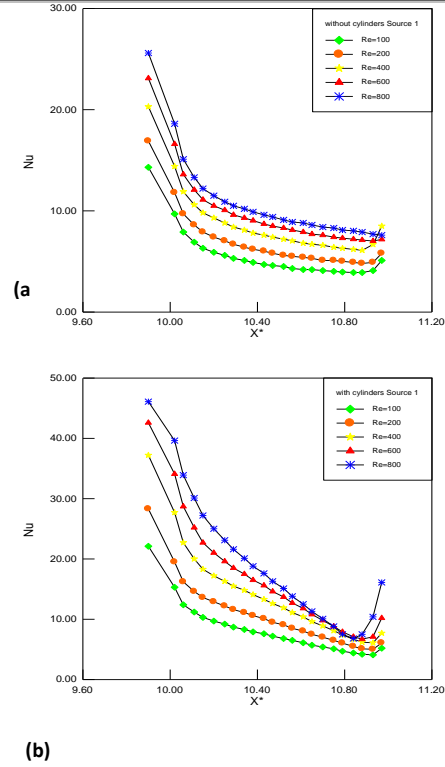


الشكل (9): توزيع رقم نسلت الموضعي عند المصدر

الحراري الاول (S=2) و (Pr=0.7)

(a): حالة عدم وجود الاسطوانتين، (b) حالة وجود

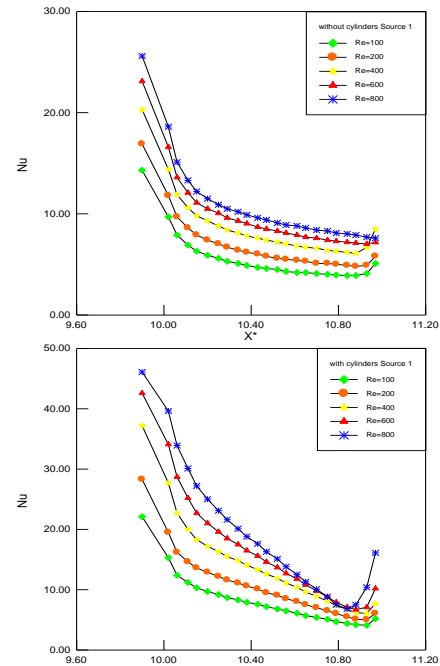
الاسطوانتين.



الشكل (6): توزيع رقم نسلت الموضعي عند المصدر

الحراري الثاني (S=1) و (Pr=0.7)

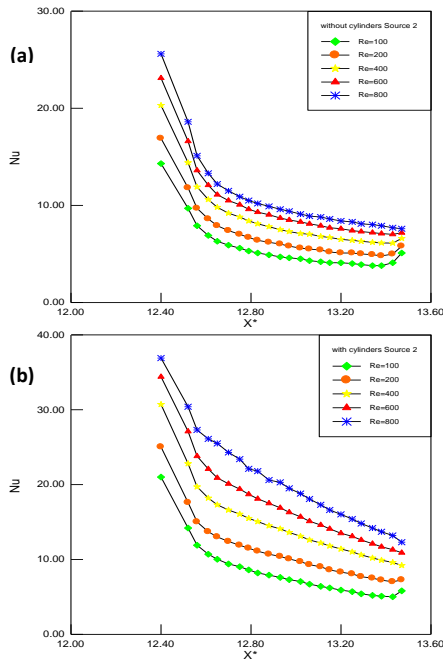
(a): حالة عدم وجود الاسطوانتين، (b) حالة وجود الاسطوانتين.



الشكل (7): توزيع رقم نسلت الموضعي عند المصدر

الحراري الاول (S=1.5) و (Pr=0.7)

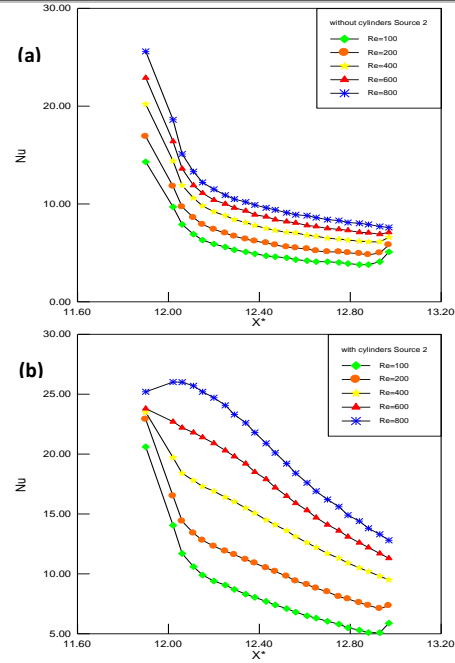
(a): حالة عدم وجود الاسطوانتين، (b) حالة وجود الاسطوانتين.



الشكل (12): توزيع رقم نسلت الموضعي عند المصدر

الحراري الثاني ($S=2.5$) و ($Pr=0.7$)

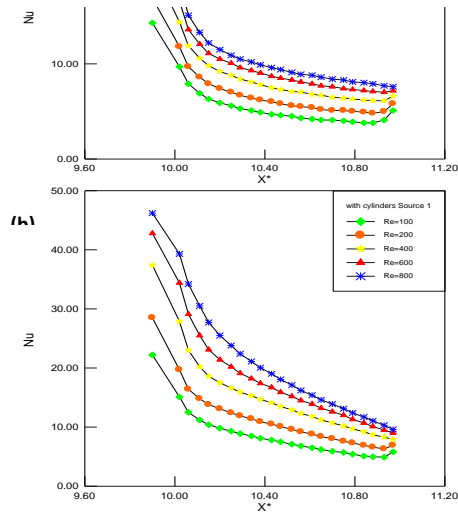
(a): حالة عدم وجود الاسطوانتين، (b) حالة وجود الاسطوانتين.



الشكل (10): توزيع رقم نسلت الموضعي عند المصدر

(a) الحراري الثاني ($S=2$) و ($Pr=0.7$)

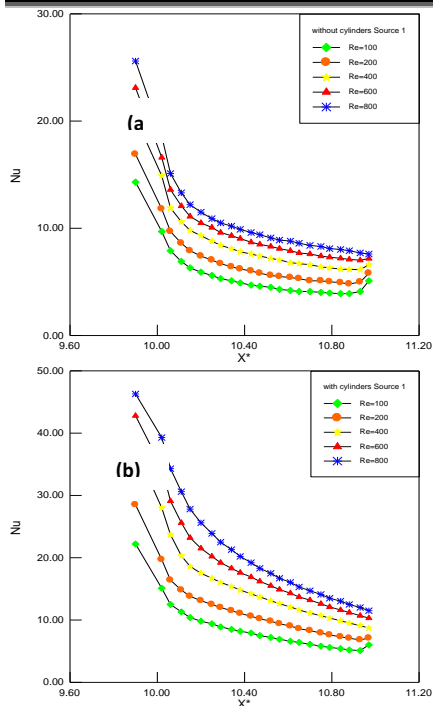
(b): حالة عدم وجود الاسطوانتين، (a) حالة وجود الاسطوانتين.



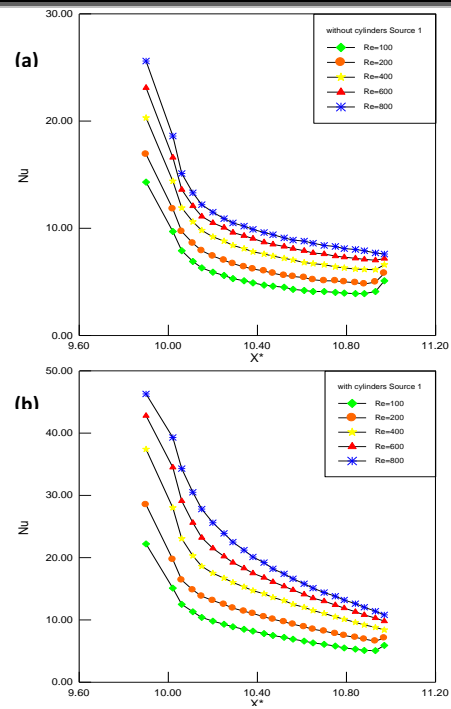
الشكل (11): توزيع رقم نسلت الموضعي عند المصدر

الحراري الاول ($S=2.5$) و ($Pr=0.7$)

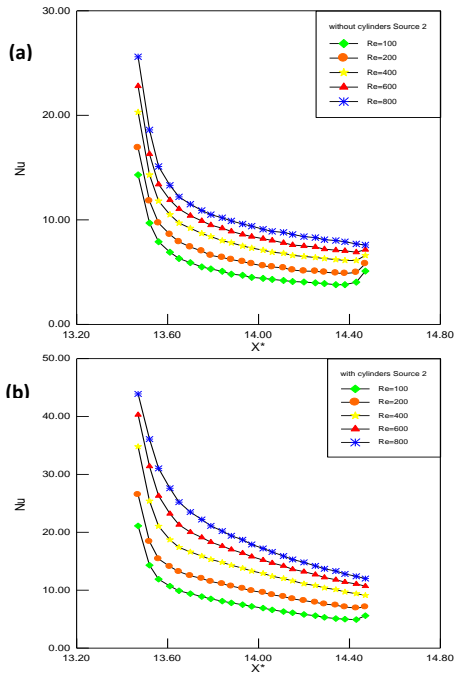
(a): حالة عدم وجود الاسطوانتين، (b) حالة وجود



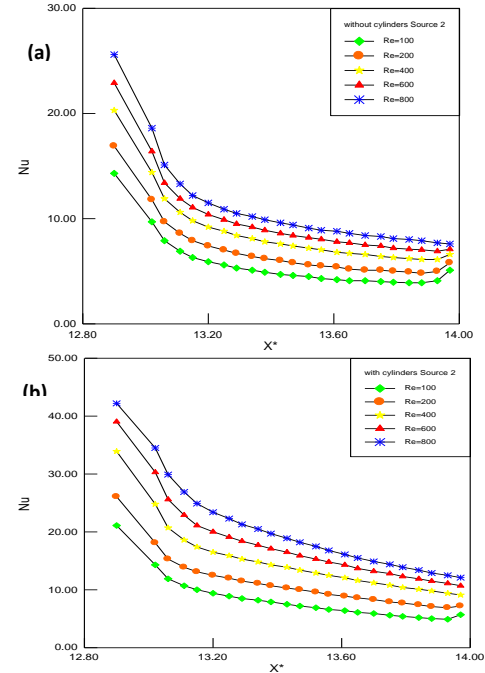
الشكل (15): توزيع رقم نسلت الموضعي عند المصدر
الحراري الاول ($S=3.5$) و ($Pr=0.7$)
(a) حالة عدم وجود الاسطوانات، (b) حالة وجود



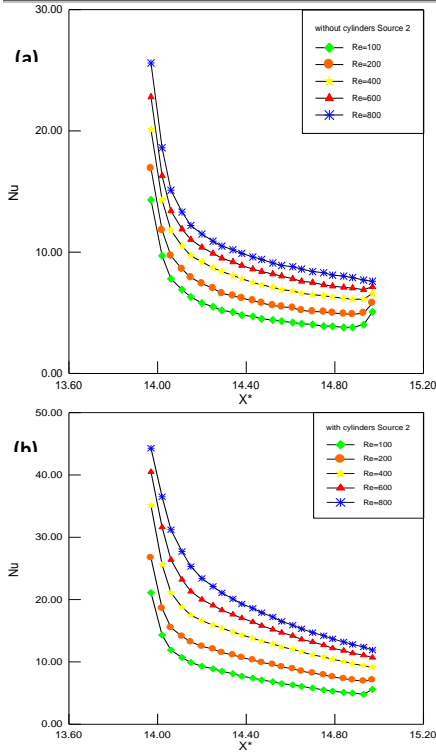
الشكل (13): توزيع رقم نسلت الموضعي عند المصدر
الحراري الاول ($S=3$) و ($Pr=0.7$)
(a) حالة عدم وجود الاسطوانات، (b) حالة وجود الاسطوانات.



الشكل (16): توزيع رقم نسلت الموضعي عند المصدر
الحراري الثاني ($S=3.5$) و ($Pr=0.7$)
(a) حالة وجود الاسطوانتين، (b) حالة وجود الاسطوانتين.



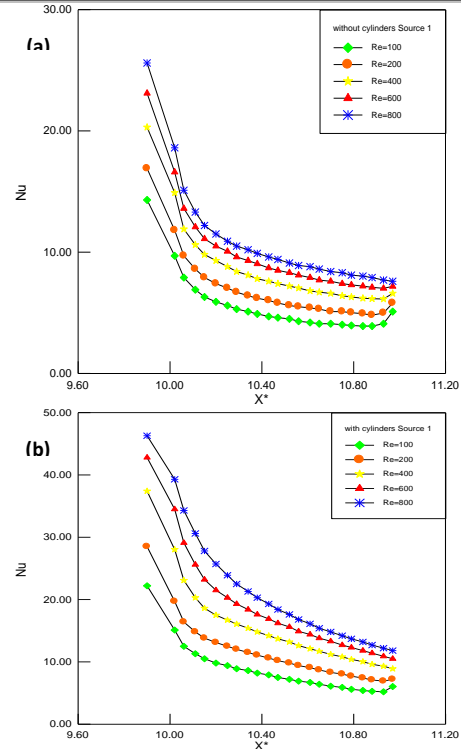
الشكل (14): توزيع رقم نسلت الموضعي عند المصدر
الحراري الثاني ($S=3$) و ($Pr=0.7$)
(a) حالة عدم وجود الاسطوانتين، (b) حالة وجود الاسطوانتين.



الشكل (18): توزيع رقم نسلت الموضعي عند المصدر

الحراري الثاني (S=4) و (Pr=0.7)

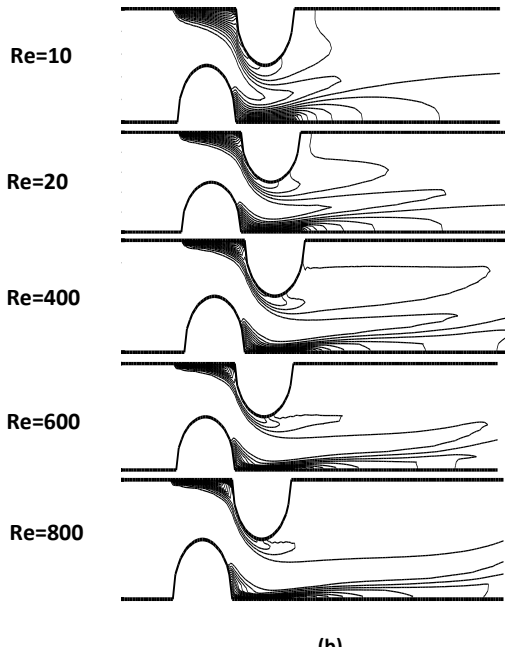
(a): حالة عدم وجود الاسطوانتين، (b) حالة وجود الاسطوانتين.



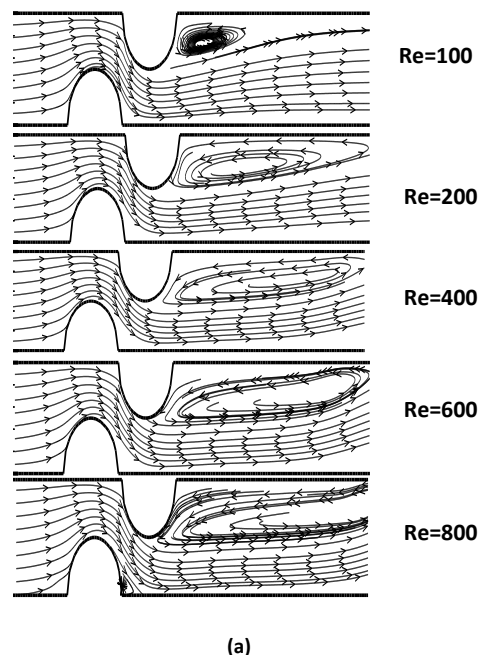
الشكل (17): توزيع رقم نسلت الموضعي عند المصدر

الحراري الاول (S=4) و (Pr=0.7)

(a): حالة عدم وجود الاسطوانتين، (b) حالة وجود الاسطوانتين.



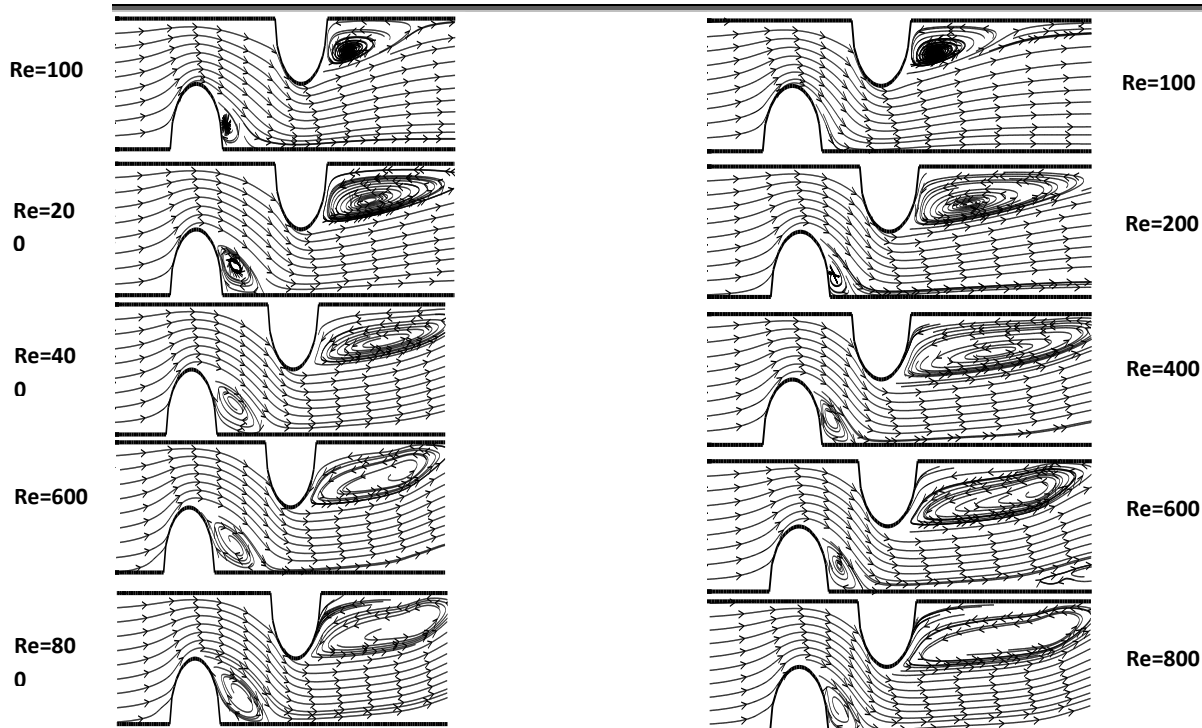
(a)



(a)

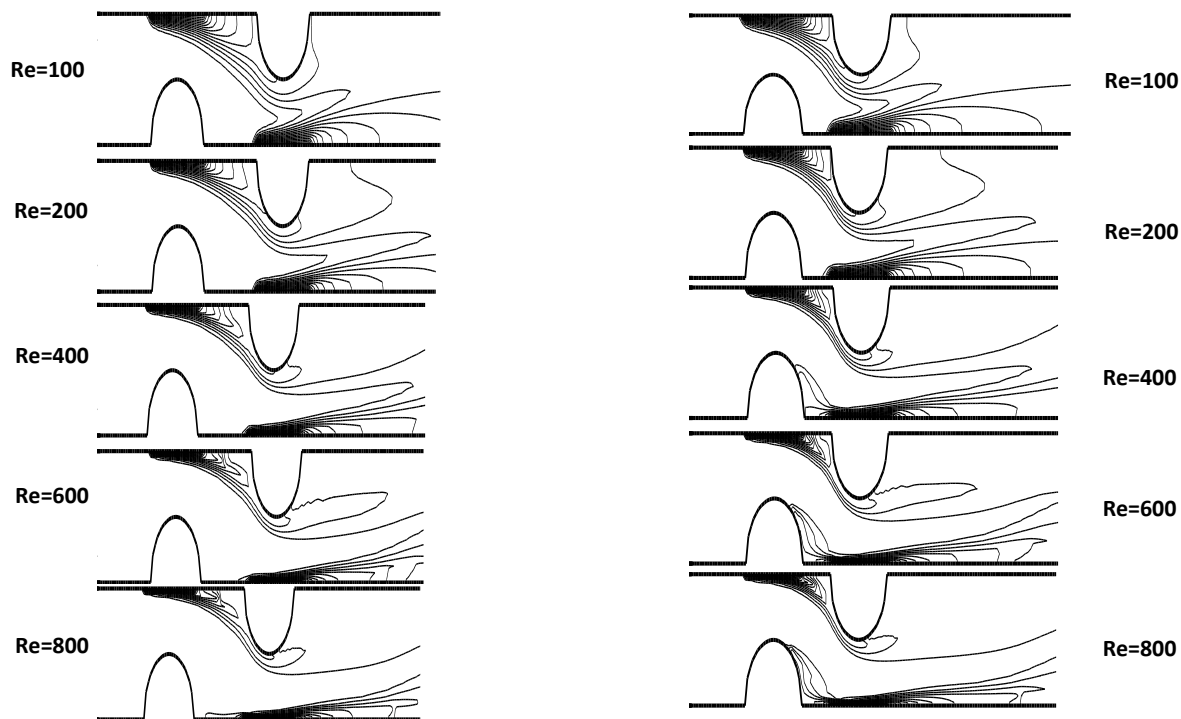
الشكل (19): (a) خطوط الانسياب عند (S=1) و (Pr=0.7) ولمختلف ارقام رينولد

(b) خطوط درجات الحرارة داخل القناة عند (S=1) و (Pr=0.7) ولمختلف ارقام رينولد



(a)

(a)



(b)

(b)

الشكل (21): (a) خطوط الانسياب عند $(S=2)$

ولمختلف ارقام رينولد $(Pr=0.7)$

(b) خطوط درجات الحرارة داخل القناة عند $(S=2)$

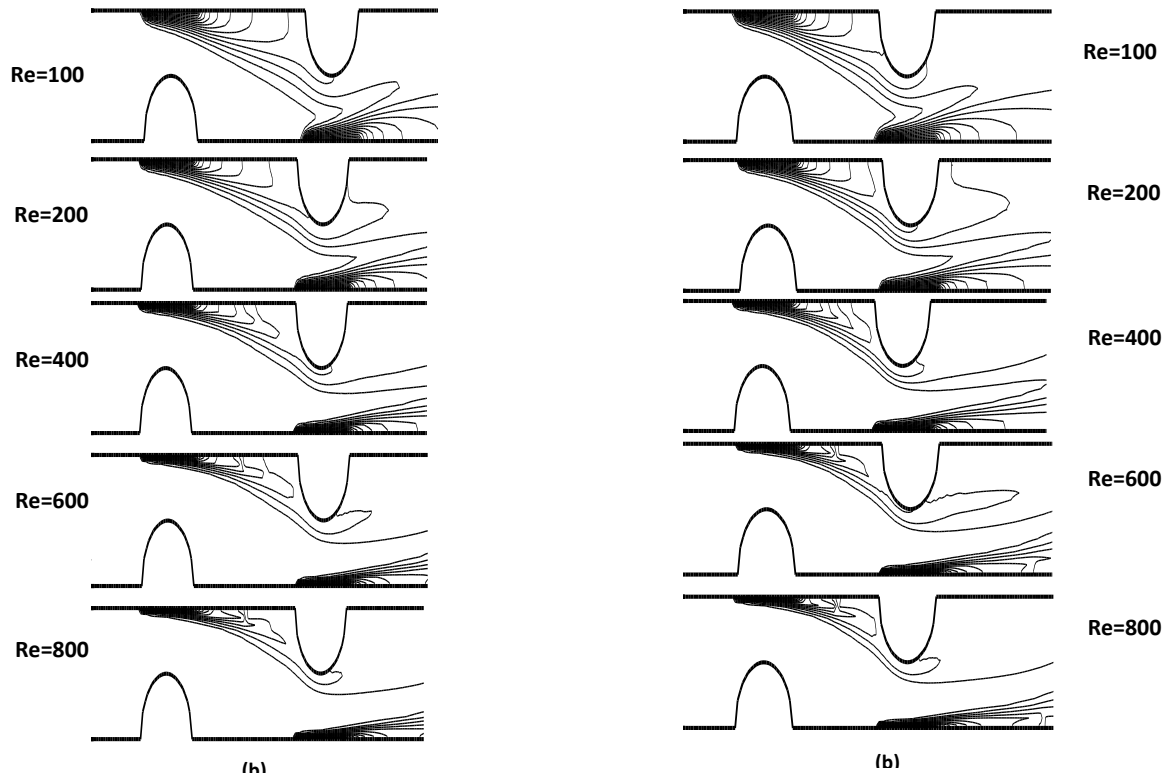
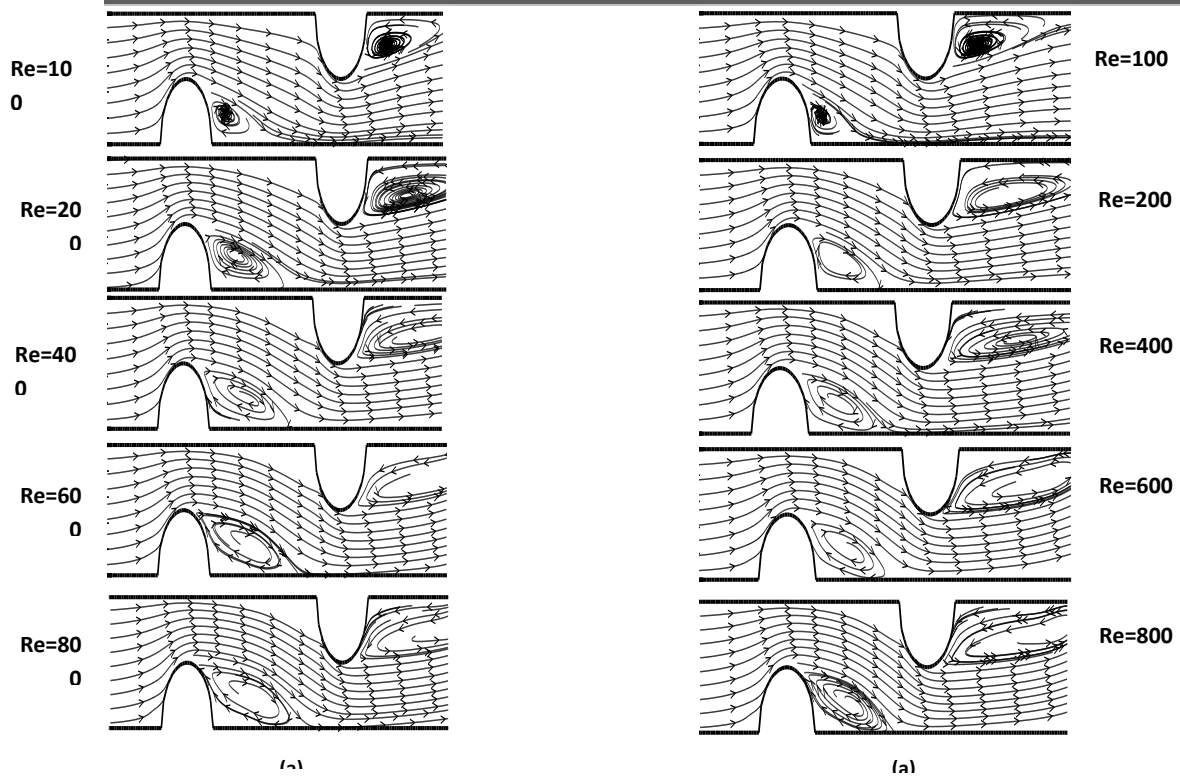
ولمختلف ارقام رينولد $(Pr=0.7)$

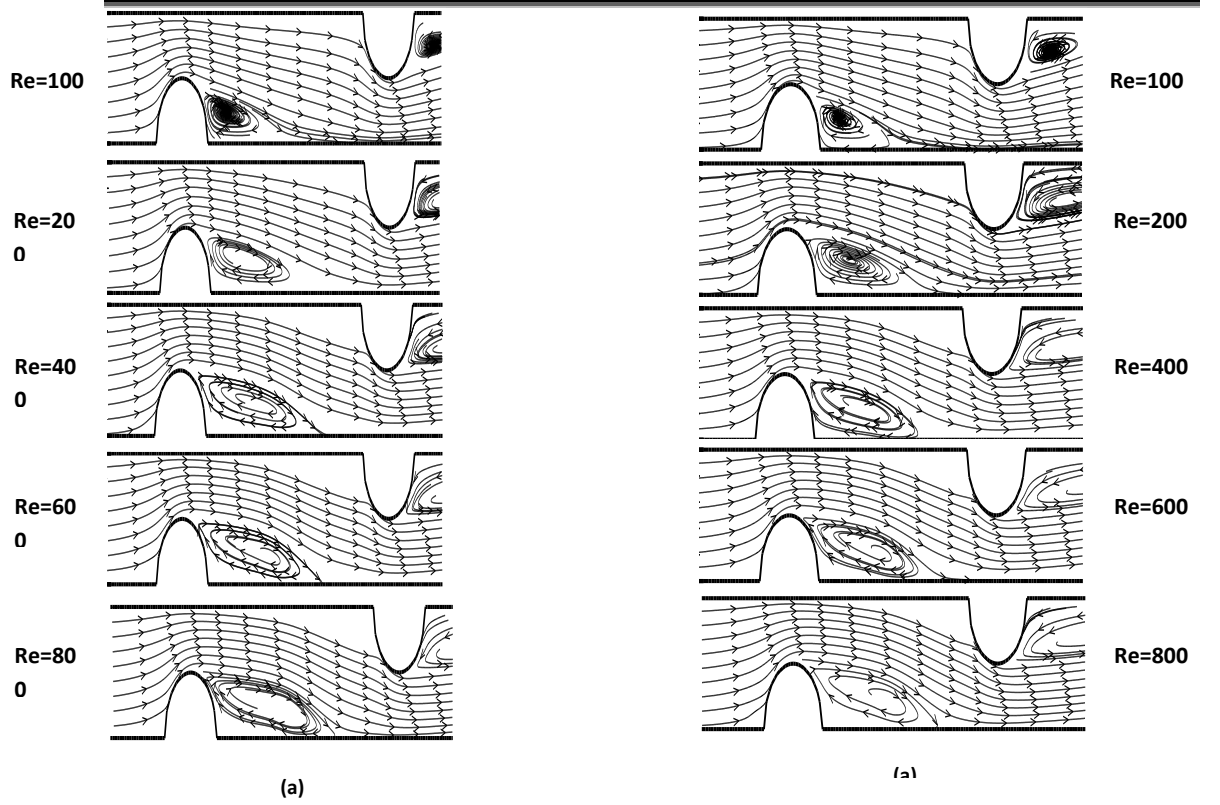
الشكل (20): (a) خطوط الانسياب عند $(S=1.5)$

ولمختلف ارقام رينولد $(Pr=0.7)$

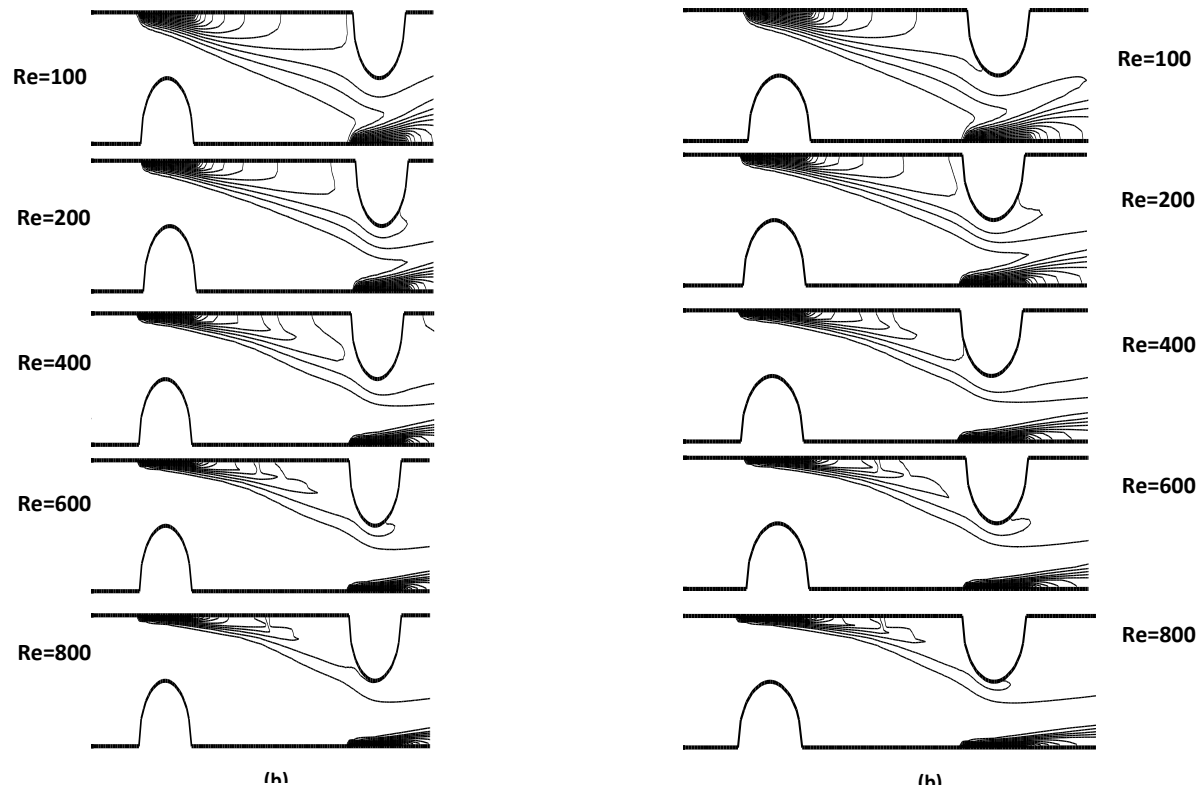
(b) خطوط درجات الحرارة داخل القناة عند $(S=1.5)$

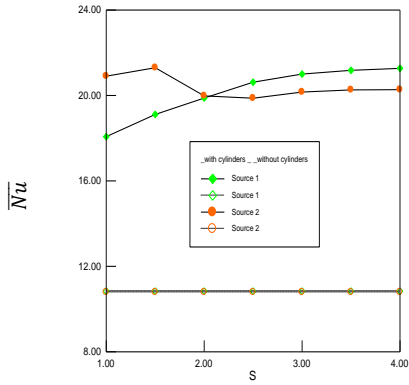
ولمختلف ارقام رينولد $(Pr=0.7)$

الشكل (23): (a) خطوط الانسياب عند $(S=3)$ ولمختلف ارقام رينولد $(Pr=0.7)$ (b) خطوط درجات الحرارة داخل القناة عند $(S=3)$ ولمختلف ارقام رينولد $(Pr=0.7)$ الشكل (22): (a) خطوط الانسياب عند $(S=2.5)$ ولمختلف ارقام رينولد $(Pr=0.7)$ (b) خطوط درجات الحرارة داخل القناة عند $(S=2.5)$ ولمختلف ارقام رينولد $(Pr=0.7)$

الشكل (24): (a) خطوط الانسياب عند $(S=3.5)$

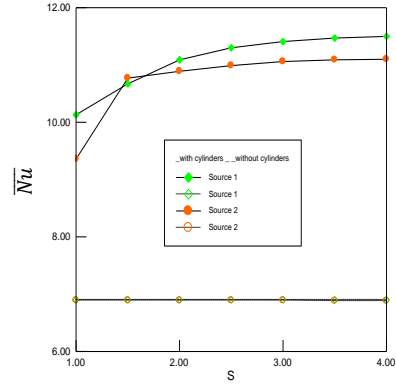
ولمختلف ارقام رينولد

(b) خطوط درجات الحرارة داخل القناة عند $(S=3.5)$ $(Pr=0.7)$ الشكل (25): (a) خطوط الانسياب عند $(S=4)$ ولمختلف ارقام رينولد $(Pr=0.7)$ وخطوط درجات الحرارة داخلالقناة عند $(S=4)$ ولمختلف ارقام رينولد



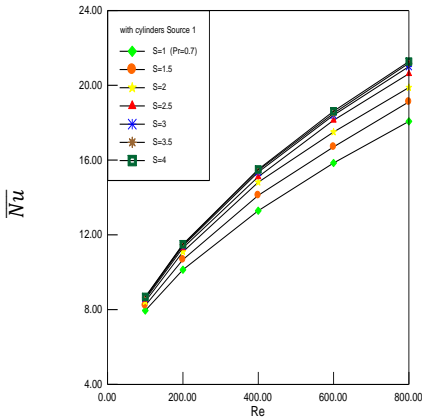
الشكل (29): تأثير وجود انصاف الاسطوانات والمسافة

(S) على متوسط رقم نسلت عند (Re=800)



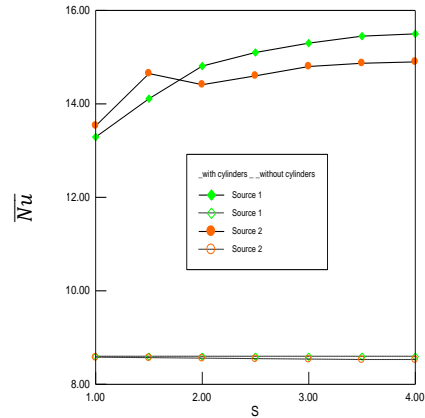
الشكل (26): تأثير وجود انصاف الاسطوانات والمسافة

(S) على متوسط رقم نسلت عند (Re=200) و (Pr=0.7)



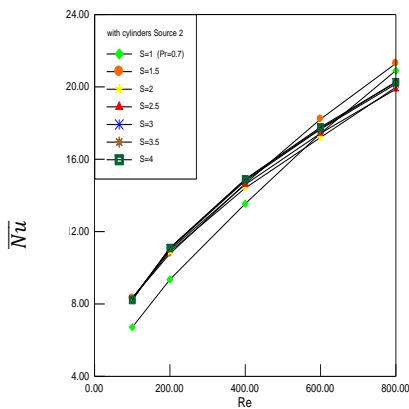
الشكل (30): تأثير رقم رينولد (Re) على متوسط

رقم نسلت للمصدر الحراري الاول عند عدة مسافات



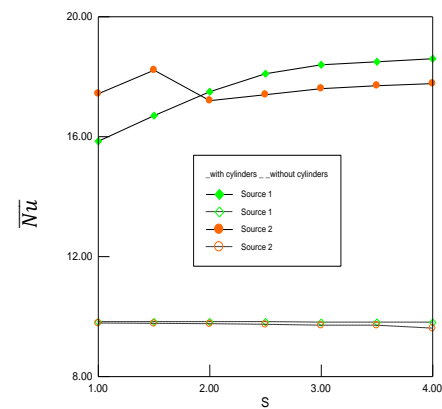
الشكل (27): تأثير وجود انصاف الاسطوانات والمسافة

(S) على متوسط رقم نسلت عند (Re=400)



الشكل (31): تأثير رقم رينولد (Re) على

متوسط

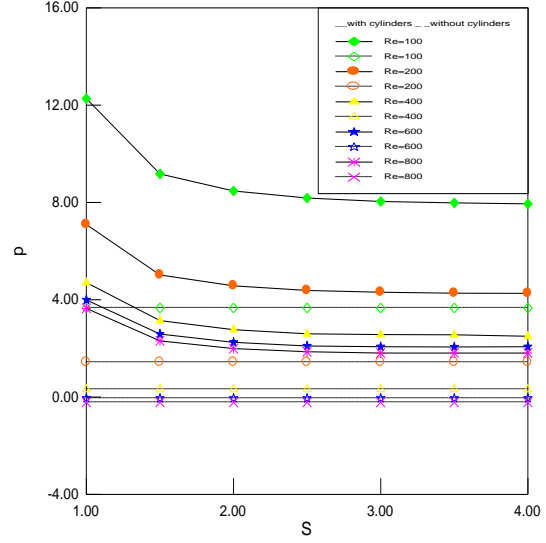


الشكل (28): تأثير وجود انصاف الاسطوانات والمسافة

(S) على متوسط رقم نسلت عند (Re=600) و (Pr=0.7)

لمصدر الحراري الاول				
S	Re=200	Re=400	Re=600	Re=800
1	1.468	1.563	1.613	1.668
1.5	1.546	1.66	1.7006	1.819
2	1.607	1.742	1.782	1.835
2.5	1.637	1.776	1.846	1.903
3	1.653	1.805	1.873	1.939
3.5	1.652	1.817	1.883	1.955
4	1.666	1.823	1.895	1.963
المصدر الحراري الثاني				
S	Re=200	Re=400	Re=600	Re=800
1	1.35	1.592	1.785	1.939
1.5	1.563	1.723	1.878	1.975
2	1.5805	1.695	1.773	1.853
2.5	1.595	1.717	1.796	1.843
3	1.605	1.741	1.820	1.8701
3.5	1.609	1.749	1.824	1.879
4	1.611	1.752	1.831	1.880

الجدول (1):-نسبة تحسين انتقال الحرارة (HTE) من المصدرين

 ΔP 

الشكل (32): تأثير بعد المسافة (S) على معدل هبوط الضغط

لمختلف ارقام رينولد بوجود وعدم وجود انصاف الاسطوانات